

ALLES ÜBER KALK

Von Mattia Bottazzo

EIGENSCHAFTEN, TYPEN UND ANWENDUNGEN

JAHRTAUSENDALTE GESCHICHTE – WAS IST KALK – KALK IN DER ARCHITEKTUR – TADELAKT UND STUCK – KALK IN DER KUNST – KALK IM DENKMALSCHUTZ – KALK IM BIOBAU – VORSCHRIFTEN UND ABKÜRZUNGEN



Kalk ist das edle Bindemittel im Bauwesen.

Er ist das Produkt der Brennung von mehr oder weniger reinen Kalksteinen bei Temperaturen zwischen 900 und 1200 °C.

Darauf folgen das Löschen und weitere Verarbeitungsprozesse in Abhängigkeit vom Typ und der Qualität des Endprodukts.

Heute wird Kalk industriell hergestellt, in modernen Anlagen und mit kontrollierten Verfahren, früher war er das Ergebnis handwerklicher Arbeit, ein Erbe der uralten Kenntnisse der Baukunst.

Einleitende Anmerkung

Einige der technischen und historischen Informationen in diesem Text wurden teilweise aus verlässlichen Quellen wie bancadellacalce.it und forumcalce.it entnommen.

Die Ausarbeitung, Zusammenfassung, Neuordnung der Inhalte und die endgültige Abfassung des Textes erfolgten durch Mattia Bottazzo, basierend auf eigenen direkten Erfahrungen und im Laufe der Zeit erworbenen Kompetenzen.

www.bottazzo-malermeister.de

Instagram: Kalkwerkstatt

Email: info@bottazzo-malermeister.de

Über mich: Ein Handwerk, eine Leidenschaft, eine Lebensentscheidung

Mein Name ist Mattia Bottazzo, ich wurde 1992 in Nardò, Provinz Lecce, geboren und bin 2011 nach Deutschland gezogen. Ich bin Unternehmer im Malerhandwerk im Süden Deutschlands. Nach einer dreijährigen Ausbildung als Facharbeiter habe ich mich entschlossen, meine Ausbildung zu vertiefen und die Meisterschule im Maler- und Lackiererhandwerk zu besuchen. Dieser intensive und herausfordernde Weg hat mir ermöglicht, mein eigenes Unternehmen zu gründen und meinen Beruf, den ich liebe, mit Stolz und Verantwortung auszuüben.

Viele Jahre habe ich mit industriellen Produkten gearbeitet, die oft chemische Zusatzstoffe und synthetische Harze enthalten – ohne dabei jemals meine Leidenschaft für meinen Beruf zu verlieren. Mit der Zeit wuchs jedoch in mir ein tieferes Bewusstsein: Das Material, das wir verwenden, ist nicht nur ein Werkzeug, sondern beeinflusst auch das Wohlbefinden der Menschen, die in den Räumen leben. Für mich wurde es immer wichtiger, die Gesundheit der Menschen zu schützen und die Umwelt, in der ich arbeite, zu achten.

So traf ich eine bedeutende Entscheidung: Ich wandte mich von der chemischen und künstlichen Welt ab und widmete mich ganz den natürlichen Materialien. Dabei entdeckte ich den Kalk neu – einen wertvollen, lebendigen und authentischen Verbündeten, der Schönheit, Dauerhaftigkeit und ein Gefühl von Harmonie in Räume bringt. Kalk ist weit mehr als ein Baustoff; er ist eine jahrtausendealte Tradition, die Vergangenheit und Zukunft, Kunst und Wissenschaft, Gesundheit und Ästhetik vereint.

Von diesem Moment an öffnete sich für mich eine neue Welt: die Welt der Restaurierung, sowohl in Deutschland als auch in Italien. Ich hatte das Glück, großzügige Meister zu treffen – wahre Handwerker vergangener Zeiten –, die mir weit mehr als eine Technik beibrachten. Sie vermittelten mir Respekt vor dem Material, Geduld bei der Arbeit, Liebe zum Detail und vor allem die Leidenschaft für einen Beruf, der auch eine Liebeserklärung an Geschichte und Menschen ist.

Heute trage ich dieses Erbe an Tradition, Erfahrung und Werten in mir. Jede Wand, die ich behandle, ist nicht nur Arbeit: Sie ist ein Stück Geschichte, das wieder lebendig wird, ein Raum, der sich erneuert, um seine Bewohner gesund und natürlich willkommen zu heißen. Ich bin dankbar für alle, die mir den Weg gezeigt haben, und stolz, meinen Kunden eine authentische, respektvolle und dauerhafte Alternative anbieten zu können.

Viel Vergnügen beim Lesen...

JAHRTAUSENDEALTE GESCHICHTE

Vorgeschichte

Das erste bekannte Baumaterial, das in der Baugeschichte verwendet wurde, ist Ton. Seine Nutzung reicht bis in die Vorgeschichte zurück: Der prähistorische Mensch hatte empirisch erkannt, dass Ton, vermischt mit Wasser, ein plastisches Material ergibt, das an anderen sonst losen Materialien haften und beim Trocknen aushärten und sie verbinden kann.

Die ersten Bindemittel, die aus Kalkbrennprozessen natürlicher Steine gewonnen wurden und allgemein als zementartige Stoffe bezeichnet werden, sind Gips und Luftkalk. Ihre Entdeckung dürfte ungefähr zur gleichen Zeit erfolgt sein, man kann vermuten, dass sie denselben Ursprung haben wie die Entdeckung der Terrakotta, da diese ebenfalls mit der Entdeckung des Feuers verbunden ist.

Da Gips aufgrund der niedrigeren Brenntemperatur leichter zu gewinnen ist als Kalk, ist es wahrscheinlich, dass Gips zunächst häufiger Verwendung fand. Tatsächlich ist das älteste bekannte Beispiel für die systematische Nutzung einer Zementationsreaktion im Bauwesen mit der Verwendung von Gips verbunden: Es handelt sich dabei um den Untergrund der dekorativen Fresken von Çatalhöyük in Kleinasien, die auf etwa 9000 v. Chr. datiert werden.

Das älteste uns bekannte Artefakt, das mit Kalk hergestellt wurde, ist ein Beton, der 1985 in Yiftah in der südlichen Galiläa (Israel) entdeckt wurde und auf ca. 7000 v. Chr. datiert ist. Dieser Bodenbelag, der sehr kompakt ist und eine harte, glatte Oberfläche besitzt, wurde aus Kalk und Steinen gefertigt und auf einem einheitlichen Sockel aus sandigem Ton verlegt.

Dieser archäologische Fund löste eine vorherige Entdeckung ab: eine etwa 25 cm dicke Terrasse aus Fettkalkbeton, die in Lepenac Vir in Serbien gefunden wurde und auf ca. 5600 v. Chr. datiert wird.

Ägypter

Ein Wandgemälde, das in Theben entdeckt wurde und auf das Jahr 1950 v. Chr. datiert ist, zeigt ein frühes Beispiel für einen Kalkmörtel bzw. einen kalkbasierten Verbundstoff in Ägypten.

Die Entdeckung eines Bindemittels mit hydraulischem Verhalten – also eines Stoffes, der auch unter Wasser abbinden und erhärten kann – wird den Phöniziern zugeschrieben. Wie bekannt, verfügten sie über eine sehr fortschrittliche Zivilisation, der verschiedene Erfindungen zugeschrieben werden, etwa die Metallverhüttung oder das erste Alphabet.

Die Phönizier sollen Mörtel hergestellt haben, die aus Luftkalk und vulkanischem Sand der Kykladen bestanden. Mit hydraulischem Mörtel verputzte Wasserzisternen wurden in Jerusalem entdeckt und auf die Zeit des salomonischen Königreichs (10. Jahrhundert v. Chr.) datiert. Sie gelten als Werk phönizischer Handwerker.

Griechen

Die Griechen verwendeten Kalkbindemittel in großem Umfang. Das Wissen über deren Herstellung und Anwendung gelangte zu ihnen durch die kretisch-minoische Zivilisation und wurde später an die Etrusker und Römer weitergegeben.

Einige griechische Bauwerke aus der Zeit des Herodot (ca. 450–500 v. Chr.), wie etwa das Aquädukt von Argos aus Marmor-Konglomerat und Kalk, zeigen, dass Kalkbindemittel zu jener Zeit bereits weit verbreitet waren.

Römer

In Rom wurde der Einsatz eines Kalk-Stein-Gemisches erstmals um 300 v. Chr. dokumentiert – bei den Bauwerken des Appius Claudius Caecus: dem Aqua Appia und der Via Appia. Die Römer verbesserten die Technologie zur Herstellung von Luftkalk erheblich, indem sie hochwertige Kalksteine brannten und den entstandenen Brantkalk sorgfältig löschten, um ihn anschließend mit sauberem Sand zu vermischen.

Sie kannten ausschließlich Luftkalk, also Kalk, der nur in Kontakt mit Luft abbinden kann. Hydraulischer Kalk, der auch unter Wasser abbindet, war ihnen unbekannt. Dennoch konnten die Römer hydraulische Mörtel herstellen, indem sie dem Gemisch **Puzzolanerde** zusetzten. Wie schon Griechen und Phönizier vor ihnen wussten auch die Römer, dass bestimmte vulkanische Ablagerungen, wenn sie gemahlen und mit Sand sowie Luftkalk vermischt werden, einen Mörtel ergeben, der nicht nur mechanisch fester ist als herkömmlicher Kalkmörtel, sondern auch der Einwirkung von Süß- und Meerwasser widersteht.

Zur Herstellung dieser hydraulischen Mörtel verwendeten die Römer überwiegend rote oder purpurne vulkanische Tuffe aus verschiedenen Gegenden rund um den Golf von Neapel. Da der beste dieser Böden aus der Umgebung von Pozzuoli stammte, erhielt das Material den Namen **Puzzolanerde** (vom lateinischen *pulvis puteolana*).

Die Römer nutzten auch natürliche Puzzolane, die bereits den Griechen bekannt waren, wie z. B. auf der Insel Santorin (*Santos*) oder die dunkle vulkanische Erde von Thera. Später kamen auch die **Trassvorkommen** im Rheinland hinzu – ein vulkanischer Tuff aus Süddeutschland.

Der wichtigste Bindemitteltyp der römischen Zeit war somit der „**calcestuzzo**“ – ein Mörtel, bestehend aus gelöschtem Kalk (Sumpfkalk), Sanden, Ziegelmehl, puzzolanischem Sand oder gemahlenen Scherben gebrannter Ziegel in verschiedenen Mischungen. Heute verstehen wir gut den Grund für diese Wahl: die außergewöhnliche Haftfähigkeit, die an der Kontaktfläche zwischen dem (natürlichen oder künstlichen) puzzolanischen Material und dem Kalk entsteht.

War keine vulkanische Erde verfügbar, griffen die Römer auf zerstoßene oder gemahlene Dachziegel, Backsteine oder Keramik zurück, die einen ähnlichen hydraulischen Effekt erzielten. Diese Praxis dürfte sogar älter sein als die Verwendung von Vulkanerden: So gibt es Hinweise, dass bereits in der minoischen Kultur auf Kreta (ca. 1700 v. Chr.) zerkleinerte Keramikreste Kalkmörteln beigemischt wurden, um deren mechanische Festigkeit, Dichtigkeit und Haltbarkeit zu verbessern.

Die Verbreitung der römischen Technologie wurde durch die Veröffentlichung des „**De architectura**“ um 13 v. Chr. begünstigt – ein Werk des Architekten und Ingenieurs **Marcus Vitruvius Pollio**. Es gilt als eine der detailliertesten Quellen zur römischen Bautechnik und wird als weltweit erstes Beispiel industrieller Normung angesehen.

In Kapitel V behandelt Vitruv den Kalk (*calx*) und zeigt dabei eine zwar empirische, aber bemerkenswert präzise Kenntnis:

„Nachdem ich die verschiedenen Arten von Sand beschrieben habe, soll nun besondere Sorgfalt auf den Kalk verwendet werden: Er soll aus weißem Stein oder aus Flintstein (Anm.: gemeint ist harter Stein) gebrannt sein. Der härtere und dichtere Stein eignet sich für den Mauerbau, der poröse für den Verputz. Wenn der Kalk gelöscht ist, soll er in folgender Weise mit dem Sand vermischt werden: Bei Grubensand mischt man drei Teile Sand mit einem Teil Kalk. Handelt es sich um Fluss- oder Meeressand, nimmt man zwei Teile Sand auf einen Teil Kalk. Wird diesen Sandarten ein dritter Teil fein gemahlenes und gesiebtes Ziegelmehl zugesetzt, so ergibt dies eine noch bessere Mischung für die Praxis.“

Das Wissen der Römer über Mörteltechnologie verbreitete sich bis in die entferntesten Gebiete des Reiches – wie die Qualität römischer Mauerwerke in England beweist, die derjenigen in Rom selbst in nichts nachstehen.

Mittelalter

Mit dem Fall des Römischen Reichs gingen viele der bis dahin erreichten handwerklichen Fähigkeiten verloren. Die Herstellung und Verwendung von Kalk ist jedoch weiterhin sowohl durch archäologische Funde als auch durch schriftliche Quellen belegt.

Im Mittelalter wurden viele der zuvor beschriebenen bautechnischen Hinweise zum Ofenbau vernachlässigt. Fast überall kehrte man zur einfachen, vertikal ausgerichteten Landofen-Bauweise zurück – ohne gemauertes Innenfutter –, die viel „**Halbkalk**“ (nicht vollständig gebrannter Kalkstein) erzeugte. Diese Öfen waren meist in den Boden eingelassen und so angelegt, dass sie auf zwei Ebenen arbeiteten: oben der Kalkstein, unten das Brennholz und der Austrag des fertigen Kalks. Auch schräg gebaute Öfen kamen wieder zum Einsatz.

Insgesamt ist während des gesamten Mittelalters ein allmählicher Qualitätsverfall der in der Baupraxis eingesetzten Kalkmörtel zu beobachten. Immer häufiger wurden verschmutzte, lehmhaltige Sande verwendet, der Einsatz von vulkanischer Puzzolane oder Ziegelmehl wurde aufgegeben, und auch die Technik, Mörtel und Kalkbetone mit möglichst wenig Wasser gut zu verdichten, wurde vernachlässigt.

Die primitive Bauweise vieler Öfen führte zu einem generellen Rückgang der Kalkqualität. Erst später – im 14. Jahrhundert – konnte man durch den Einsatz von gemauerten (wenn auch noch periodisch betriebenen)

Holzöfen und schließlich im 18. Jahrhundert durch Rostöfen mit Kohlebefeuerung wieder ein Qualitätsniveau erreichen, das mit dem der römischen Zeit vergleichbar war.

In England war der Verfall besonders während der Zeit der Sachsen und Normannen (ca. 450–1150 n. Chr.) zu beobachten – er zeigt sich deutlich in den damaligen Bauwerken, bei denen oft fehlerhaft zusammengesetzte Mörtel und schlecht gebrannter Kalk verwendet wurden.

In einem Werk von **Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc**, das sich mit der Untersuchung französischer Bauwerke beschäftigt, kommt der Autor zu dem Schluss, dass in den Jahrhunderten IX, X und XI die Kunst des Kalkbrennens nahezu vollständig verloren gegangen war. Häufig wurde Kalk mit unvollständig gebrannten Klumpen eingesetzt, ohne den Zusatz von gemahlenem Ziegel.

Ab dem 12. Jahrhundert verbesserte sich die Qualität wieder: Der Kalk wurde besser gebrannt und sorgfältiger gesiebt. Nach dem 14. Jahrhundert setzte sich die Verbesserung fort – es wurden exzellente Mörtel entdeckt, bei deren Herstellung bewusst darauf geachtet wurde, den Sand zu waschen und von Erde sowie Ton zu befreien.

Dieses Wiederaufleben kann auch mit dem **Humanismus** in Verbindung gebracht werden, der zur Übersetzung und erneuten Lektüre antiker lateinischer Werke führte – darunter die Schriften von Vitruv und Plinius –, die wiederum zur genaueren Herstellung und Verwendung von Kalk beitrugen.

In den folgenden Jahrhunderten, insbesondere im 17. und 18. Jahrhundert, kam es zu weiteren Verbesserungen – etwa durch neue technologische Entwicklungen in der Kalkproduktion, wie den Wechsel von Holz zu Kohle als Brennstoff sowie durch die Entdeckung neuer pozzolanisch wirksamer Materialien zur Herstellung hydraulischer Mörtel.

Insgesamt blieb die Qualität der Kalkprodukte über diese Jahrhunderte hinweg jedoch sehr ungleichmäßig, und die Standards aus der römischen Zeit wurden im Allgemeinen nicht mehr erreicht.

19. Jahrhundert

Die Techniken der Römer wurden im 18. Jahrhundert in Frankreich wiederentdeckt und erneut angewendet, insbesondere im Rahmen der großen Wasserbauarbeiten am Schloss von Versailles. Bedeutende Persönlichkeiten in diesem Zusammenhang waren **Loriot**, **De la Faye**, **Faujas de Saint-Fond** und vor allem **Jean Rondelet**.

Loriot berichtete in einer Schrift aus dem Jahr 1774, er habe das einfache Verfahren wiederentdeckt und nachgewiesen, mit dem die Römer ihren Bauwerken jene Stabilität verliehen, die noch heute durch deren lange Haltbarkeit bezeugt wird: die perfekte Zusammensetzung der eingesetzten Mörtel.

Jean Rondelet veröffentlichte im Jahr 1805 das maßgebliche Werk zu diesem Thema: den „**Traité de l'art de bâtir**“ (Abhandlung über die Baukunst). Darin analysierte er die römischen Bauwerke eingehend und führte zahlreiche Versuche durch. Er kam zum Schluss, dass die hohe Qualität der römischen Mörtel nicht auf ein geheimes Verfahren beim Löschen oder bei der Zusammensetzung des Kalks (er meinte damit noch den Luftkalk) zurückzuführen war, sondern auf die große Sorgfalt bei der Mischung und Verdichtung des Mörtels.

Zur selben Zeit entstand in Großbritannien – einem Land mit langer Küstenlinie – das Bedürfnis nach Bindemitteln, die auch unter maritimen Bedingungen beständig waren.

Im Jahr 1750 erhielt **John Smeaton** den Auftrag, den Leuchtturm von Eddystone vor Plymouth wiederaufzubauen. Dabei entwickelte er eine originelle Struktur mit passgenau eingefügten, schwalbenschwanzförmig verzahnten Steinblöcken und verwendete als Mörtel eine Mischung aus Kalk und niederländischem Trass.

Dabei entdeckte Smeaton eher zufällig, dass das Brennen von kalkhaltigem Gestein mit tonigen Verunreinigungen eine neue Art von Kalk erzeugte – **hydraulischer Kalk** – mit ähnlichen Eigenschaften wie eine Kalk-Puzzolan-Mischung, jedoch mit dem Vorteil, dass keine Puzzolane erforderlich war, die nicht überall verfügbar war.

Nachdem man erkannt hatte, dass die hydraulischen Eigenschaften dieses Kalks auf die tonigen Beimengungen im Ausgangsmaterial zurückzuführen waren, begannen erste Versuche mit der gezielten Mischung und dem Brennen von Kalkstein und Ton.

1796 ließ **James Parker** ein besonderes natürliches hydraulisches Bindemittel patentieren, das als „**Römischer Zement**“ bekannt wurde. Es entstand durch das Brennen tonhaltiger Kalkkonkretionen (sog. Septarien). Dasselbe Verfahren wurde 1802 auch in Frankreich verwendet.

1812 stellte der Franzose **Louis Vicat** einen künstlich hergestellten hydraulischen Kalk her, indem er gezielt Mischungen aus Kalkstein und Ton (Lehm) kalzinierte.

Vicat war der erste, der zwischen **natürlichem** und **künstlichem hydraulischem Kalk** unterschied:

- Der natürliche entstand durch das Brennen von tonhaltigem Kalkstein.
- Der künstliche durch das Brennen gezielt zusammengesetzter Mischungen aus Kalkstein und Ton.

Vicat unterschied außerdem erstmals klar zwischen **hydraulischem Kalk** und **Zement**:

- Produkte, die vor der Verarbeitung gelöscht werden, gelten als hydraulischer Kalk.
- Produkte, die ohne vorheriges Löschen verarbeitet werden, gelten als Zement.

1822 ergänzte **James Frost** die Rezeptur, indem er fein zermahlenes Kalkgestein zusetzte.

Der entscheidende Durchbruch erfolgte **1824**, als der englische Maurer **Joseph Aspdin** das Verfahren zur Auswahl und Verarbeitung von Kalkstein perfektionierte und damit ein Bindemittel von bis dahin unerreichter Qualität und Festigkeit schuf.

Aspdin war es auch, der den **Portlandzement** erfand – so genannt, weil das erhärtete Produkt in Aussehen und Festigkeit dem Naturstein von der Insel Portland ähnelte. Durch sorgfältig abgestimmte Mischungen von Kalkstein und Ton, gebrannt in einem Kalkofen, erhielt er ein Bindemittel (zunächst noch eine Form von hydraulischem Kalk), das alle bis dahin bekannten übertraf.

Der entscheidende Impuls zur Entwicklung moderner hydraulischer Bindemittel kam durch die Entdeckung von **Isaac Charles Johnson**, der **1845** ein Bindemittel mit Eigenschaften produzierte, die mit dem heutigen Portlandzement vergleichbar sind.

Er führte die Rohstoffe bis zur beginnenden **Vitrifikation** (Verkieselung), also dem Schmelzpunkt. Zu diesem Zweck nutzte er einen speziellen **periodisch betriebenen Brennofen** – den sogenannten **Johnson-Ofen**.

Dieser Schritt bedeutete den qualitativen Sprung von den 850–900 °C, die für gewöhnlichen hydraulischen Kalk (wie Aspdins „Zement“) ausreichten, hin zu **1450–1500 °C**, die nötig sind, um echten **Zementklinker** zu erzeugen – den Hauptbestandteil des modernen Portlandzements.

20. Jahrhundert

In Italien setzte sich erst in den **1880er-Jahren** ein vertieftes technologisches Wissen zur Herstellung von hydraulischem Kalk durch – mit über **vierzig Jahren Verspätung** im Vergleich zu den fortschrittlicheren europäischen Ländern.

Die ersten Brennöfen zur Herstellung solcher Bindemittel waren **vertikal ausgerichtete Anlagen in Flaschen- oder Kegelstumpfform** (ähnlich dem ersten Werk, das Aspdin in Kent errichtete), mit **Brenntemperaturen um die 850–900 °C**, jedoch mit **erheblichen Wärmeverlusten**.

Nach und nach wurden **technologische Neuerungen** eingeführt:

- der Einsatz von **hochkalorischen Brennstoffen** (zunächst Kohle, später Erdölprodukte) anstelle des traditionellen Brennmaterials Holz,

- sowie die **Anpassung der Ofenstruktur** an höhere Verbrennungstemperaturen, u.a. durch **doppelte Wandungen** zur besseren Wärmedämmung.

Diese Entwicklungen führten auch in Italien zum Übergang von der Produktion von **hydraulischem Kalk** hin zur **Zementherstellung**.

Im Laufe des 20. Jahrhunderts etablierte sich der **Zement** als das **einzigste und unangefochtene** Bau-Bindemittel.

Die **Ölkrise der 1970er-Jahre** offenbarte jedoch erstmals die **Verwundbarkeit des Portlandzements**, zumindest unter energetischen Gesichtspunkten – angesichts des enormen Ressourcenverbrauchs, der zu seiner Herstellung notwendig ist.

Ab dem Jahr **2000** rückten Begriffe wie „**Umweltverträglichkeit**“, „**Ökologische Architektur**“ und „**Erhalt des Kulturerbes**“ in den Fokus wirtschaftlicher und politischer Agenden der führenden Industrienationen.

Kalk trat dabei erneut als eine mögliche Antwort auf diese Herausforderungen in Erscheinung.

Heute

Heute präsentiert sich der **Kalk** – dank seines **geringeren Energiebedarfs bei der Herstellung**, seiner **gesundheitsfördernden Wirkung auf Gebäude** und seiner **vollständigen Kompatibilität mit historischer Bausubstanz** – als **Bau-Bindemittel des dritten Jahrtausends**.

Er tut dies mit jener **Frische** und jenem **Vermögen zu überraschen**, wie es nur ein außergewöhnliches Material nach **Jahrhunderten harter und unermüdlicher Arbeit** für sich beanspruchen kann.

WAS IST KALK

Kalk oder Zement?

„Bevorzugen Sie Kalk oder Zement?“

Wir stehen unserem Bauunternehmer gegenüber, wir wählen die Materialien für unser Haus aus – sagen wir zum Beispiel für die Verputzarbeiten – und erhalten diese Frage.

In einem solchen Moment neigen wir wahrscheinlich dazu, spontan und aus dem Bauch heraus zu antworten – fast wie aus einem persönlichen Glaubensbekenntnis –, statt nüchtern die technischen Eigenschaften der beiden Materialien abzuwägen.

Die Naturfreunde (oder Anhänger der Nachhaltigkeit, der Ökologie oder wie auch immer man es nennen möchte) werden sagen: „**Kalk!**“

Die Technikliebhaber, Fortschrittsgläubigen oder Umsatzorientierten hingegen antworten: „**Zement!**“

Ähnlich wie in der Politik lassen wir uns manchmal eher von Gefühlen oder einem Zugehörigkeitsgefühl zur „passenden Seite“ leiten als von einer tatsächlichen Analyse der Fakten und der konkreten Gegebenheiten.

Auswahlkriterien für Sumpfkalk

Sumpfkalk ist eines der bekanntesten und meistgeschätzten Bindemittel in der Geschichte der Architektur. Er zeigt sich als eine dichte, wasserreiche, lufttrocknende Kalkpaste, die sich beim Anfassen „fettig“ anfühlt.

Entgegen der verbreiteten Meinung ist Sumpfkalk auch heute noch im Handel erhältlich. In Italien gibt es zahlreiche Kalkbrennereien, die ihn weiterhin produzieren und in Eimern oder luftdicht verschlossenen Plastiksäcken verkaufen.

Trotz dieses Angebots bestehen bei Anwendern jedoch weiterhin viele Zweifel und Unsicherheiten bei der Auswahl **hochwertiger Sumpfkalke**, die sich für verschiedene Einsatzzwecke eignen: Mörtel, Putz, Wandfarben usw.

So ist beispielsweise vielen der Unterschied zwischen einem **kalkhaltigen** und einem **dolomitischen Sumpfkalk** nicht klar. Ebenso wissen sie oft nicht, wie man zwischen einem in Erdgruben gereiften Kalk und einem direkt aus dem Hydrator abgefüllten Produkt unterscheidet oder was genau mit „**fetter**“ und „**magerer**“ Kalk gemeint ist.

Rechtliche Vorgaben: Wie man Kalk anhand des technischen Datenblattes richtig liest

Unter den heute auf dem Markt erhältlichen Sumpfkalken lassen sich einige Typen anhand der **technischen Datenblätter** und der **Pflichtangaben auf dem Etikett** unterscheiden – diese Angaben sind gesetzlich vorgeschrieben und müssen jedes Produkt begleiten.

Dazu ist es hilfreich, die **europäische Norm EN 459-1:2015** für Baukalke zu kennen. Sie wurde vom **Italienischen Normeninstitut (UNI)** veröffentlicht und regelt die Begriffsbestimmungen, technischen Anforderungen und Konformitätskriterien für Baukalke.

In dieser Norm werden die Produkte nach ihren **chemischen und physikalischen Eigenschaften** klassifiziert, die durch einfache Abkürzungen auf dem Etikett gekennzeichnet sind.

Wenn ein Sumpfkalk aus **kalkhaltigem Branntkalk** hergestellt wurde, beginnt die Abkürzung auf dem Etikett mit „**CL**“ (für *Calcic Lime* = Kalk mit Calciumoxid oder -hydroxid).

Wurde er hingegen aus **dolomitischem Kalk** produziert, beginnt die Kennzeichnung mit „**DL**“ (für *Dolomitic Lime*, d. h. Kalk mit Magnesiumoxid oder -hydroxid).

Direkt nach diesen Buchstaben gibt die Norm die Angabe des **Gesamtoxid-Gehalts** in Prozent vor.

- Für **reinen Kalk (CL)** kann dieser Wert **70 %, 80 % oder 90 %** betragen.
- Für **magnesiumhaltige Kalke (DL)** liegt der Wert bei **80 % bis 85 %**.

Dabei ist zu beachten: Auch in einem CL-Kalk kann ein kleiner Anteil Magnesium enthalten sein, solange dieser **unter 5 %** bleibt.

Der Unterschied zwischen **CL 70**, **CL 80** und **CL 90** ergibt sich hauptsächlich aus dem Anteil anderer Verunreinigungen wie **Karbonaten**, die sich beispielsweise durch Reaktion des gelagerten Kalkhydroxids mit der Luft in Gruben oder Verpackungen bilden.

Ein **guter Restaurierungskalk** ist daher ein **CL 90**, der gemäß Norm mindestens 90 % Oxide enthalten muss, mit **weniger als 5 % Magnesium** und **weniger als 4 % Karbonaten**.

Auch bei **dolomitischen Kalke (DL)** kann man anhand der Norm besser geeignete Produkte für die Denkmalpflege erkennen:

Eine **DL 85** ist zu bevorzugen, da sie laut Vorgabe mehr als 85 % Oxide enthält, davon über 30 % Magnesium, und weniger als 7 % Karbonate.

Angabe der chemisch-physikalischen Form

Ein letzter Hinweis auf dem Etikett betrifft die **Form**, in der der Kalk verkauft wird:

Für Sumpfkalke muss das Etikett zusätzlich die **Buchstaben „S“ oder „S2“** enthalten:

- „**S**“ steht für vollständig gelöschten **kalkhaltigen Sumpfkalk (CL)**,
- „**S2**“ steht für vollständig gelöschten **dolomitischen Sumpfkalk (DL)**.

- Die Bezeichnung „**S1**“ wird für **halbgelöschte Kalke** in Pulverform verwendet, hauptsächlich bei magnesiumhaltigen Produkten.

Zusammenfassend

Die Wahl eines geeigneten Kalkprodukts kann also **bereits über das Etikett** erfolgen.

Beispiele:

- **EN 459-1 CL 90 S** = kalkhaltiger Sumpfkalk mit >90 % Hydroxiden.
- **EN 459-1 DL 85 S2** = dolomitischer Sumpfkalk mit >85 % Oxiden, davon >30 % Magnesium, vollständig gelöscht.

Produkte, deren Etiketten oder Datenblätter **unklare oder unvollständige Angaben** enthalten, sollten **gemieden werden**, da sie möglicherweise nicht der Norm entsprechen.

Natürlich reicht diese Kennzeichnung **nicht aus**, um die **tatsächliche Qualität** des Kalks zu bewerten. Dafür wären **Laboranalysen** notwendig, die jedoch aufgrund von Zeit- und Kostenfaktoren nicht immer durchführbar sind.

Trotzdem ermöglichen die Vorgaben der europäischen Normen und die technischen Datenblätter bereits eine **erste fundierte Auswahl**. Voraussetzung dafür ist jedoch ein **grundlegendes Wissen über das Material Kalk** und ein Verständnis für die **rechtlichen Rahmenbedingungen seiner Vermarktung**.

Luftkalk

Luftkalk, so genannt, weil er durch die Aufnahme von Kohlendioxid aus der Luft erhärtet, entsteht durch das Brennen besonders reiner Kalke – Gesteine mit hohem Calciumcarbonat-Gehalt.

Im Bereich der Baukalksorten versteht man unter Luftkalk zwei Produkte:

- den sogenannten „**ungelöschten Kalk**“, der überwiegend aus Calciumoxid besteht,
- den „**gelöschten**“ oder „**hydrierten Kalk**“, der überwiegend aus Calciumhydroxid besteht.

Beim Brennen von Kalksteinen, die auch Magnesiumcarbonat enthalten, entsteht ebenfalls ungelöschter Kalk, der nach der Hydratation zu gelöschtem Kalk wird, welcher dann neben Calciumoxid/-hydroxid auch Magnesiumoxid und -hydroxid enthält.

Die Begriffe „ungelöschter“ und „gelöschter“ Kalk werden unabhängig vom Magnesiumgehalt verwendet. Will man jedoch zwischen reinem Calciumkalk und Kalk mit Magnesium unterscheiden, spricht man von **calciumhaltigem Kalk (CL)** und **dolomitischem Kalk (DL)**.

Ungelöschter Kalk ist im Bauwesen nicht direkt verwendbar und wird unmittelbar nach dem Brennvorgang durch Zugabe von Wasser gelöscht – daraus entsteht der verwendbare gelöschte Kalk.

Gelöschter Kalk, eingesetzt für die Herstellung von Mörteln, Putzen, architektonischen Oberflächen usw., ist im Handel als Pulver oder in Pastenform erhältlich.

Hydraulischer Kalk

Hydraulische Kalke sind traditionelle Baustoffe und stellen einen grundlegenden Entwicklungsschritt in der Geschichte der Bindemittel in der Architektur dar – noch vor der Einführung des Portlandzements.

Die ersten bekannten Anwendungen hydraulischer Mörtel stammen von den Römern, und bereits zuvor von den Griechen. Diese Kulturen stellten hydraulische Mischungen her, indem sie Luftkalk mit **Puzzolanen** kombinierten – nicht jedoch mit dem, was wir heute als hydraulischen Kalk bezeichnen, der ein anderes und deutlich jüngeres Produkt ist.

Die Existenz besonderer Kalke, die durch das Brennen von mergelhaltigen Kalksteinen gewonnen wurden – bekannt als „**starker Kalk**“, „**dunkler Kalk**“, „**wilder Kalk**“ usw. – ist in der Architekturgeschichte gut dokumentiert. Erst im 18. Jahrhundert jedoch wurde erkannt, dass die Reaktivität von hydraulischem Kalk auf den **Tonmineralgehalt** des Ausgangsmaterials zurückzuführen ist.

Im Jahr 1793 entdeckte **John Smeaton**, dass das Brennen von Kalkstein mit tonigen Verunreinigungen einen Kalk ergibt, der ähnliche Eigenschaften aufweist wie eine Mischung aus Luftkalk und Puzzolan. Der Begriff „**hydraulisch**“, bezogen auf Bindemittel, geht auf den französischen Ingenieur **Louis Vicat (1786–1861)** zurück, der als Erster die genauen Mischungsverhältnisse von Kalkstein und Ton definierte, um Materialien herzustellen, die **auch ohne Luftzufuhr, also im Wasser, abbinden und erhärten können**.

Vicat schlug eine erste Klassifikation der hydraulischen Kalke vor, die in vielen Punkten heute noch Gültigkeit besitzt.

Hydraulische Kalke werden durch das Brennen von mergelhaltigen Kalksteinen oder Kalk-Mergel-Gemischen hergestellt – natürlichen Mischungen mit einem Tonmineralgehalt zwischen **6 % und 22 %**. Gebrannt wird bei Temperaturen zwischen **1000 und 1250°C**.

Bei diesen Temperaturen entsteht Calciumoxid (CaO), das sich teilweise mit der in den Tonmineralen enthaltenen Kieselsäure (Siliciumdioxid) und Tonerde (Aluminiumoxid) verbindet und **hydraulische Calcium-Silikate und -Aluminate** bildet.

Diese Verbindungen reagieren mit Wasser zu **stabilen, unlöslichen Hydraten**, die es dem Material ermöglichen, auch **unter Wasser zu erhärten** – das ist das sogenannte **hydraulische Abbinden**.

Der Kalkkreislauf

„Es liegt etwas Magisches darin, einen Stein aus der Erde zu nehmen, ihn im Feuer zu brechen und zu brennen, ihn mit Wasser plastisch zu machen, ihn nach Wunsch zu formen und ihn durch die Wirkung der Luft wieder zu verfestigen.“

So wird beschrieben, was wir heute den **Kalkkreislauf** nennen – ein Prozess, bei dem Kalkstein in mehreren Etappen zu einem der wichtigsten Bindemittel der letzten 10.000 Jahre wird.

Die vier grundlegenden Schritte:

1. Auswahl des Kalksteins

Die **mineralogischen und chemischen Eigenschaften** des Ausgangskalksteins sind entscheidend für die Qualität des Endprodukts.

Für die Herstellung von Luftkalk eignen sich Kalksteine mit **mikrokristalliner Struktur, hohem Calciumcarbonat-Gehalt** und einem **Gehalt an tonigen Verunreinigungen von unter 5%**.

2. Brennen

Beim Brennen wird der Kalkstein in einem Ofen auf etwa **900°C** erhitzt.

Dabei zersetzt sich Calciumcarbonat (CaCO₃) zu **Calciumoxid (CaO, „ungebrannter Kalk“)** und **Kohlendioxid (CO₂)**.

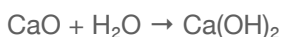
Chemische Reaktionsgleichung:



3. Löschen (Hydratation)

Wird der ungebrannte Kalk mit Wasser in Kontakt gebracht, reagiert er unter starker Wärmeentwicklung zu einer weißen Pulver- oder Pastenform – dem sogenannten **gelöschten Kalk** (chemisch: Calciumhydroxid).

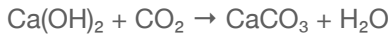
Reaktionsgleichung:



4. Karbonatisierung

Nach der Verarbeitung – z. B. als Mörtel, Stuck oder Anstrich – erfolgt die **Karbonatisierung**: Der gelöschte Kalk reagiert mit Kohlendioxid (und freiem Wasser) aus der Umgebungsluft und verwandelt sich wieder in **Calciumcarbonat (Calcit)**. So schließt sich der **Kalkkreislauf**.

Chemische Reaktionsgleichung:



Auch wenn diese Reaktionsgleichung korrekt ist, läuft der Prozess in der Realität komplexer ab – insbesondere in wässriger Phase und nicht einfach als Reaktion zwischen einem Feststoff (Ca(OH)_2) und einem Gas (CO_2).

NHL – Natürlicher Hydraulischer Kalk

In den letzten Jahren haben sich die Bedeutungen der Begriffe, die im Zusammenhang mit hydraulischen Bindemitteln verwendet werden, stark verändert. Dies hat bei Anwendern zu **großer Verwirrung** geführt – insbesondere bei der Bezeichnung „hydraulischer Kalk“.

Laut der Norm **UNI EN 459-1:2010** wird unter dem Begriff **Hydraulic Lime (HL)** heute oft ein Produkt verstanden, das **nicht durch das Brennen von natürlichen Mergeln oder Kalk-Ton-Gemischen** entsteht, sondern durch eine Mischung aus:

- **Portlandzement**,
- einem hohen Anteil fein gemahlenem **Füllstoff** (meist kalkhaltig),
- und geringen Mengen **lufteinschlagender Zusatzstoffe**.

Diese als HL bezeichneten Produkte sind in Wahrheit oft **Zemente mit niedriger Festigkeit**, die bei der Restaurierung **negativ auf die Haltbarkeit** wirken können. Mögliche Risiken sind die Bildung von **Ettringit oder Thaumasyt** sowie ein hoher Gehalt an **wasserlöslichen Salzen**.

Echte hydraulische Kalke hingegen, die durch das **Brennen von natürlichen Mergeln** oder **homogenen Mischungen aus Kalkstein und Tonmineralien** hergestellt werden, bezeichnet man als **Natürliche Hydraulische Kalke – NHL (Natural Hydraulic Limes)**.

Diese Produkte enthalten **keine künstlichen Zusatzstoffe** wie Zement, Puzzolane, Flugasche oder Clinker.

Die Norm unterscheidet zusätzlich drei **Festigkeitsklassen**, die sich auf die Druckfestigkeit nach 28 Tagen beziehen:

- **NHL 2**
- **NHL 3,5**
- **NHL 5**

Herstellung von hydraulischem Kalk

Natürlicher hydraulischer Kalk wird hergestellt, indem ein unreines Kalkstein-Gestein (Mergel) bei einer Temperatur von etwa 1000 °C in Öfen gebrannt wird, die denen der Herstellung von Luftkalk ähneln. Beim Verlassen des Ofens wird das Material durch einen Prozess „gelöscht“, der dem Löschvorgang von Luftkalk ähnlich, aber nicht identisch ist, und anschließend vermahlen.

Am Ende des Prozesses besteht der natürliche hydraulische Kalk aus einer Mischung von Ca(OH)_2 (gelöschter Kalk), C_2S (Dicalciumsilikat), C_3S (Monocalciumsilikat), C_2A (Dicalciumaluminat) usw. sowie aus

nicht gebundenem Quarz (Siliziumdioxid) und Aluminiumoxid.

Das so hergestellte Produkt wirkt als hydraulisches Bindemittel. Die Hydraulizität wird durch das Vorhandensein von Silikaten, Calciumaluminaten sowie amorphen, nicht gebundenen Silizium- und Aluminiumoxiden bestimmt, die mit dem nach dem Löschvorgang entstehenden Kalkhydroxid reagieren können.

Die Erhärtungsprozesse des hydraulischen Kalks erfolgen hauptsächlich durch Hydratation, aber auch durch die Carbonatisierung des immer vorhandenen Luftanteils.

Herstellung von künstlichem hydraulischem Kalk (HL und FL)

Im Bereich der Kalkherstellung wird heute handelsüblich zwischen natürlichem hydraulischem Kalk (Abkürzung NHL) und künstlichem hydraulischem Kalk (Abkürzungen HL und FL) unterschieden.

Hydraulischer Kalk, der durch das Brennen von Mergeln hergestellt wird, wie zuvor beschrieben, wird gemäß der Norm UNI EN 459-1:2010 als natürlicher hydraulischer Kalk bezeichnet.

Künstlicher hydraulischer Kalk hingegen wird durch Mischen von Kalk (hauptsächlich Luftkalk) mit anderen hydraulischen Bindemitteln hergestellt.

Der Herstellungsprozess von natürlichem hydraulischem Kalk ist somit wesentlich komplexer als der von künstlichem hydraulischem Kalk, der im Grunde eine einfache „Verdünnung“ von gelöschtem Kalk, Portlandzement und anderen industriellen Nebenprodukten mit pozzolanischer Wirkung darstellt.

Pulver oder Paste?

Gelöschter Kalkpulver wird hergestellt, indem gelöschter Kalk unter kontrollierten Bedingungen mit Wasser reagiert, mittels mechanischer Apparate, die Hydratisierer genannt werden.

Gelöschter Kalkpulver stellt die moderne und industrielle Form des Kalks dar und entstand mit dem Aufkommen zementärer Bindemittel, um trockene Bindemittel in Säcken ähnlich wie Zement zu vermarkten.

Gelöschter Kalkpulver ist in Säcken erhältlich und wird fast ausschließlich wegen der praktischen Verpackung geschätzt.

Gelöschter Kalk in Pastenform: Nennt ihn nicht Grassello!

Luftkalk ist im Handel auch als Paste erhältlich, also als dicke Dispersion von Kalk (Calciumhydroxid) in Wasser.

Kalkpaste wird hergestellt, indem während der Hydratation ein Überschuss an Wasser hinzugefügt wird, der über der Menge liegt, die benötigt wird, um den gesamten gebrannten Kalk (CaO) in gelöschten Kalk (Ca(OH)_2) umzuwandeln.

Luftkalkpaste kann auch durch das Auflösen von gelöschtem Kalkpulver in Wasser bis zur Homogenität hergestellt werden.

Gelöschter Kalk in Pastenform wird umgangssprachlich oft als „Grassello di calce“ bezeichnet.

Tatsächlich ist Grassello di calce jedoch ein Produkt mit besonderen Eigenschaften und Merkmalen, die es einzigartig machen und nicht mit einer einfachen Kalkpaste gleichzusetzen sind.

Formulierter hydraulischer Kalk

Die Norm UNI EN 459-1:2010, die für Kalk gilt, der als Bindemittel für Mörtel und andere Bauprodukte verwendet wird, ersetzt seit Juni 2012 die alte Norm (UNI EN 459-1:2002) und ist verbindlich.

Ab jetzt dürfen auf dem Markt nur noch Baukalke mit CE-Kennzeichnung gemäß dem neuen Dokument in Verkehr gebracht werden.

Mit der UNI EN 459-1:2010 ändert sich auch das System zur Konformitätsbewertung von System 2 auf 2+:

Während bisher für die CE-Kennzeichnung neben Anfangs- und periodischen Prüfungen eine einzige Erstbesichtigung der Produktionskontrolle ausreichte, sind nach der neuen Norm jährliche periodische Überprüfungen der Werksproduktionskontrolle erforderlich.

Die wichtigste Neuerung für Endanwender ist das Wegfallen der NHL-Z (natürliche hydraulische Kalke mit Zusatzstoffen) zugunsten der FL (formulierte Kalke).

Neue formulierte hydraulische Kalke (FL): Neue Chancen oder neue Risiken?

Die Überarbeitung der Norm UNI EN 459 führte zu einer Neuordnung der Kalke mit hydraulischen Eigenschaften in drei Untergruppen:

- **NHL Natürlicher hydraulischer Kalk** – Hergestellt durch Brennen von mehr oder weniger tonhaltigen oder kieselsäurehaltigen Kalksteinen, anschließend Löschung und Mahlung. Die hydraulischen Eigenschaften resultieren ausschließlich aus der besonderen chemischen Zusammensetzung des natürlichen Ausgangsmaterials. Zugaben sind nicht erlaubt.

- **FL Formulierter Kalk** – Formulierter Kalk ist ein hydraulischer Kalk auf Basis von Luftkalk (CL) und/oder natürlichem hydraulischen Kalk (NHL) mit Zusatz von hydraulischem und/oder pozzolanischem Material.
- **HL Hydraulischer Kalk** – Hydraulischer Kalk ist ein Bindemittel, das aus Kalk und anderen Materialien wie Zement, Hochofenschlacke, Flugasche, kalkhaltigen Füllstoffen und anderen geeigneten Materialien besteht.

Im europäischen Normungsprozess war die Einführung der neuen Untergruppe „Formulierter Kalk“ neben den „Hydraulischen Kalken“ die meistdiskutierte Frage.

Offiziell sollte damit der Endanwender „geschützt“ werden, indem für FL die Deklaration der Zusatzkomponenten (bei mehr als 5-10 %, je nach Fall) verpflichtend wird.

Vermutet wird jedoch, dass FL-Produkte das Ergebnis der Absicht sind, hydraulische Eigenschaften dem billig und in großen Mengen verfügbaren gelöschten Kalkpulver durch Zugabe fremder Materialien zu verleihen. Einfach ausgedrückt: eine echte Geschäftsmöglichkeit für große Hersteller von gelöschtem Kalk, die keinen natürlichen hydraulischen Kalk anbieten können.

Was erwartet man also von einem formulierten Kalk?

Eine Chance oder eine Gefahr? Das hängt vom Blickwinkel ab.

Für Endanwender garantiert die CE-Kennzeichnung, dass das Produkt der Norm entspricht. Allerdings enthalten FL-Kalke fast immer Zement (wie bei HL), der jedoch deklariert werden muss.

Für Liebhaber des „echten“ Kalks stellt die Markteinführung dieser Produktklasse zweifellos eine Bedrohung dar, da sie zusätzliche Verwirrung über die Bedeutung von hydraulischem Kalk und Unsicherheit über die Inhaltsstoffe in den Säcken stiftet.

Ein großer Teil der formulierten Kalke erweist sich als ungeeignet für die Denkmalpflege und Restaurierung: Die chemische Zusammensetzung von Portlandzement und anderen künstlichen hydraulischen Materialien (Hochofenschlacke, Flugasche usw.) unterscheidet sich stark von den Baustoffen der Vergangenheit und ist so inkompatibel, dass manche deren Einsatz in historischen Gebäuden als Sabotage ansehen.

Unabhängig von den tatsächlichen Gründen für die Förderung der Herstellung von Formuliertem hydraulischen Kalk darf keine umfassende Empfehlung für deren massenhaften Einsatz in der Restaurierung oder im modernen Green Building ausgesprochen werden.

Magerkalk und Fettkalk

Magerkalk und Fettkalk sind nicht zwei Freundinnen mit Figurproblemen, sondern zwei der am meisten missverstandenen und verwechselt Begriffe bei allen, die sich auf irgendeine Weise mit Kalk beschäftigen. Die „Ausbeute in Grassello“ ist das handelsübliche Kriterium, das „fette Kalke“ von „mageren Kalken“ unterscheidet.

Die Ausbeute in Grassello eines Luftkalks wird als das Volumen des frischen Grassellos ausgedrückt, das durch das Löschen einer bestimmten Menge gebrannten Kalks entsteht, angegeben in m³/Tonne.

Die italienischen Normen (R.D. 16/11/39 Nr. 2231) schreiben vor, dass diese Ausbeute für Fettkalk $\geq 2,5$ m³/t und für Magerkalk $\geq 1,5$ m³/t betragen muss.

Das Vorhandensein von Magnesiumoxid, besonders wenn es „übergebrannt“ ist, trägt häufig dazu bei, den Kalk mager zu machen, da Magnesiumoxid sich langsam hydriert und sich nach der Hydratation kaum ausdehnt. Deshalb wird in einigen Fachbüchern der Maximalgehalt an Magnesiumoxid in gebranntem Kalk auf 5–6 % begrenzt.

Es ist jedoch wichtig hervorzuheben, dass eine chemische Analyse, also nur die Kenntnis des Magnesiumgehalts, nicht ausreicht, um vorherzusagen, ob ein Kalkstein mageren oder fetten Kalk liefert. Die Ausbeute hängt von vielen Faktoren ab, vor allem vom Brenngrad und der Art des verwendeten Kalksteins.

Zum Beispiel wurde Carrara-Marmor mit sehr hohem CaCO₃-Gehalt (bis zu 99 %) nie in großem Umfang für die Kalkherstellung verwendet, trotz der großen Abfallmengen aus den Steinbrüchen für ornamentalische Zwecke.

Untersuchungen zeigen, dass apuanischer Marmor sehr mageren Kalk liefert: Eine Tonne Calciumoxid ergibt nur etwa 1,3 m³ Grassello.

Die geringe Ausbeute ist auf die spezielle zuckerkörnige Struktur des Marmors zurückzuführen, dessen Brennvorgang Kalk mit großen Calciumoxidkristallen produziert, die sich nur sehr langsam hydratisieren.

Hinweis

Es ist wichtig, die Begriffe Fettkalk und Magerkalk nicht mit fettem und magerem Mörtel zu verwechseln. Im Allgemeinen bezeichnet man als fetten Mörtel solche, die ein Mischungsverhältnis von Bindemittel zu

Zuschlagstoff (Volumen) größer als 1:2 haben, bei magerem Mörtel ist dieses Verhältnis meist kleiner als 1:3. Man kann also fetten Mörtel mit magerem Kalk und umgekehrt herstellen. Der Begriff „fetter“ oder „magerer“ Mörtel hängt jedoch nicht nur vom Bindemittel-/Zuschlagstoffverhältnis ab, sondern auch von der Rheologie des Bindemittels sowie von Art und Korngröße des Zuschlagstoffs.

Grassello di Calce

Gelöschter Kalk in Paste und Grassello di Calce sind sehr unterschiedliche Produkte und sollten niemals verwechselt werden!

Der Hauptunterschied zwischen gelöschtem Kalk in Paste und Grassello ist, dass erstere nicht von den außergewöhnlichen Effekten profitiert, die die Zeit auf die chemisch-physikalische Struktur des Materials ausübt – ein Prozess, der als Alterung oder Reifung bezeichnet wird und den Grassello von der gelöschten Kalkpaste unterscheidet.

Während der Reifung verändern sich die Kristalle des Calciumhydroxids (Portlandit) morphologisch und in ihrer Größe erheblich, was zu erhöhter Plastizität, Verarbeitbarkeit und Wasserhaltevermögen führt.

Vorteile des gealterten Grassello di Calce

Der Einsatz von korrekt gealtertem Grassello di Calce bei der Herstellung von Mörteln, Putzen, Marmorinos und Kalkfarben anstelle von gelöschtem Kalk in Paste bietet große Vorteile:

- Mit Grassello werden Mörtel „fetter“, plastischer und besser verarbeitbar, wodurch sie weniger schrumpfen und weniger Wasser aus der Wand aufnehmen – technisch und ästhetisch ist das vorteilhaft.
- Farben, die mit Grassello hergestellt werden, neigen weniger zur Entmischung als solche mit gelöschtem Kalk in Paste oder Pulver, benötigen keine organischen Zusatzstoffe, karbonatisieren besser, haften schneller und stärker am Untergrund und neigen nicht zum Abstauben, wenn gut verarbeitet.
- Grassello karbonatisiert schneller als Luftkalk in Paste (oder Pulver), was der Dauerhaftigkeit und den mechanischen Eigenschaften des daraus hergestellten Werkstücks – sei es Mörtel, Putz oder Wandfarbe – zugutekommt.

Wie erkennt man gealtertes Grassello di Calce

In Italien ist das einzige Verfahren zur Zertifizierung der Alterung von Grassello di Calce unter garantiert kontrollierten Bedingungen das vom Disziplinar der „Banca della Calce“ vorgeschlagene.

12 Monate gealtertes Grassello di Calce

Calciumhaltiges Grassello di Calce (CL 90S-PL), bei niedriger Temperatur in kontinuierlichen vertikalen Öfen mit natürlichem Zug und indirekter Flamme aus Olivenholz gebrannt. Mechanisch gelöscht und 12 Monate in Gruben gealtert.

Der hohe Calciumgehalt des Ausgangskalksteins, das „sanfte“ Brennverfahren und die Reifung verleihen dem Kalk eine „fette“, außergewöhnlich reine Qualität, ideal für die Herstellung hochwertiger Mörtel, Putze und Oberflächenbehandlungen.

Warum 12 Monate gealtertes Grassello wählen?

- Natürlich weißer Farbton
- Hervorragende Plastizität und Verarbeitbarkeit
- Hohe Feinheit

Eigenschaften

$\text{CaO} + \text{MgO} \approx 97\text{--}99\%$

$\text{MgO} < 0,1\%$

$\text{SO}_3 < 0,1\%$

48 Monate gealtertes Grassello di Calce – Restaurierung

Calciumhaltiges Grassello di Calce (CL 90S-PL), bei niedriger Temperatur in kontinuierlichen vertikalen Öfen mit natürlichem Zug und indirekter Flamme aus Olivenholz gebrannt. Mechanisch gelöscht und 48 Monate in Gruben gealtert.

Der hohe Calciumgehalt, die „sanfte“ Brennung und die lange Reifung garantieren einen „fetten“ Kalk von

höchster Qualität, außergewöhnlich weiß und rein. Ideal für die Restaurierung von Fresken, Wandmalereien und historisch-künstlerisch wertvollen Objekten.

Warum 48 Monate gealtertes Grassello wählen?

- Absolut weißer Farbton
- Außergewöhnliche Plastizität und Verarbeitbarkeit
- Hohe Ausbeute

Eigenschaften

CaO + MgO $\approx$ 97–99 %

MgO < 0,1 %

SO₃ < 0,1 %

60 Monate gealtertes magnesiakhaltiges Grassello di Calce

Magnesiakhaltiges Grassello (DL 90-30S-PL), hergestellt durch das Brennen von dolomitischem Kalkstein bei Temperaturen unter 950 °C in Gasbrennofen mit Trog. Mechanisch gelöscht und 60 Monate in Gruben gealtert.

Die magnesiakhaltige Zusammensetzung macht dieses Grassello ideal für Außenputze und Oberflächen mit ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften, vergleichbar mit schwach hydraulischen Kalken. Die lange Reifezeit verleiht dem Produkt eine seltene Verarbeitbarkeit für einen magnesiakhaltigen Kalk.

Warum 60 Monate gealtertes magnesiakhaltiges Grassello wählen?

- Lange Reifezeit
- Hervorragende mechanische Festigkeiten
- Hohe Dauerhaftigkeit

Eigenschaften

CaO + MgO > 90 %

MgO > 35 %

Feinheit < 200 Mikrometer

Gips im natürlichen hydraulischen Kalk

Doch auch in der italienischen Ausgabe der Norm EN 459-1:2010 „stört“ der Gips! Es „stört“, wenn in der Definition von natürlichem hydraulischem Kalk (NHL, Punkt 5.2.1) steht, dass „natürlicher hydraulischer Kalk ein Kalk mit hydraulischen Eigenschaften ist, der durch das Brennen von mehr oder weniger tonhaltigen oder kieselsäurehaltigen Kalksteinen (einschließlich Gips) hergestellt wird ...“.

Heißt das also, man erhielte natürlichen hydraulischen Kalk durch das Brennen von Gips?

Beruhigen Sie sich, das stimmt nicht: Es handelt sich lediglich um eine kleine „Unachtsamkeit“ in der englisch-italienischen Übersetzung des Begriffs „chalk“.

„Chalk“ wird in den wichtigsten Englisch-Italienisch Wörterbüchern (fälschlicherweise) mit „Gessetto“ übersetzt, da dieser feinkörnige Kalkstein für Kreide (Tafelkalk) verwendet wird.

Gips (engl. gypsum) ist ein evaporitisches Gestein aus Calciumsulfat, während Chalk ein organogener, unreiner Kalkstein ist, der sich hervorragend zur Herstellung von natürlichem hydraulischem Kalk eignet.

KALK IN DER ARCHITEKTUR

Mörtel

Kalkmörtel gehören zu den am meisten verwendeten und geschätzten Mörteln im Maurerhandwerk, mit Eigenschaften und Vorzügen, die andere Mörtelarten oft nicht erreichen können.

Generell ist Mörtel eine Mischung aus Bindemittel, feinem Zuschlagstoff und Wasser in passenden Verhältnissen, um einen plastischen Brei zu erhalten, der mehr oder weniger schnell erhärtet.

Das Bindemittel, in diesem Fall Kalk, bewirkt durch physikalische Umwandlung und chemische Reaktion die Verbindung der einzelnen Zuschlagstoffpartikel, die sonst lose wären.

Der Zuschlagstoff hat die Aufgabe, das Volumen der Mischung zu erhöhen, die Erhärtung und den Abbindeprozess zu erleichtern und das Schwinden während der Erhärtung zu verhindern, um Rissbildungen zu vermeiden.

Je nach Verwendung unterscheidet man:

- Mauerwerksmörtel (für Verlegung, Füllung etc.)

- Putzmörtel
- Dekorationsmörtel (aufgetragen in Dickschichten, Reliefs etc.)
- Spezialmörtel (zum Verfugen, Abdichten, Abziehen etc.)
- Mörtel für Beschichtungen (Bodenbeläge, Wände etc.)
Jede Anwendung erfordert passende Materialien und Rezepturen: universelle Kalkmörtel gibt es nicht, die im Markt erhältlich sind eher Marketingprodukte und nicht das Ergebnis jahrtausendelanger Erfahrung im Maurerhandwerk.

Luftkalk- oder hydraulische Mörtel

Die Unterscheidung der Mörteltypen kann auch nach ihrer Hydraulizität erfolgen.

Mörtel heißt „Luftkalkmörtel“ oder „hydraulischer Mörtel“, je nachdem, ob er an Luft (Luftkalk) oder unter Wasser (hydraulisch) erhärtet.

Mit Kalk als Bindemittel lassen sich drei Grundtypen von Mörtelmischungen herstellen.

Normale oder Luftkalkmörtel

Diese Mörtel erhärten nur an der Luft (durch Reaktion mit Kohlendioxid). Sie sind Mischungen aus Luftkalk (hydraulischer Kalk in Pulverform oder Grassello), Zuschlagstoffen (nicht pozzolanisch) und Wasser.

Je nach Verwendung, Körnung und Farbton können verschiedene Sandarten und feine Bruchstücke von Gesteinsmaterialien wie Marmor oder Kalkstein eingesetzt werden.

Obwohl inzwischen bekannt ist, dass Zuschlagstoffe nicht völlig inert reagieren, werden in diesen Mörteln keine pozzolanischen Materialien verwendet. Die Erhärtung erfolgt ausschließlich durch Karbonatisierung des Kalks.

Luftkalk verleiht dem Mörtel folgende Eigenschaften:

- Plastizität und gute Verarbeitbarkeit
- Förderung der Haftkräfte
- Hohe Wasserhaltefähigkeit
- Größere Flexibilität und Belastbarkeit bei Beanspruchung
- Geringe Neigung zu Ausblühungen
- Hohe Atmungsaktivität, die das Verdunsten von Feuchtigkeit erleichtert.

Hydraulische Mörtel (auf Basis von Luftkalk)

Luftkalkmörtel (Pulverkalk, Kalkpasten oder Grassello) können hydraulisch gemacht werden, indem beim Anmischen fein gemahlene Pozzolananteile oder pozzolanische Materialien hinzugefügt werden.*

Pozzolanische Materialien sind natürliche Stoffe oder Industrie-Nebenprodukte mit amorpher oder teils kristalliner Struktur, die Silikate oder Silicoaluminat enthalten.

Pozzolan allein erhärtet nicht im Kontakt mit Wasser, fein vermahlen reagiert er jedoch mit Calciumhydroxid unter Wasser und Zimmertemperatur zu Calciumsilikathydraten.

Hydraulische Luftkalkmörtel sind historisch bedeutsam, da die Römer sie für große Bauwerke einsetzten, die bis heute erhalten sind.

Unter optimalen Bedingungen bezüglich Zusammensetzung, Verdichtung und Reifung liegt die Druckfestigkeit solcher Mörtel zwischen 3 und 9 MPa.

Weitere Vorteile von Kalk-Pozzolan-Mischungen gegenüber normalen Mörteln sind:

- Höhere mechanische Festigkeit
- Geringere Wasseraufnahme
- Höhere Dauerhaftigkeit im Außenbereich.

*Pozzolan wurde ursprünglich in den Steinbrüchen von Pozzuoli abgebaut und ist ein vulkanischen Ursprungs mit überwiegend Aluminium-Silikat-Hydraten, 70 % Siliziumdioxid, Eisenoxid, Kalium, Natrium und Magnesium.

Gebrannte Tonerde (Cocciopesto) ist ein seit der Antike verwendetes inertes Material aus gebranntem und zerkleinertem Aluminiumsilikat-Ton. Es gilt als künstliche Pozzolana und wurde bereits im Altertum für wasserberührte Bauwerke (Aquädukte, Kanalisationen, Häfen etc.) sowie zur Abdichtung von Dächern genutzt.

Hydraulische Mörtel (auf Basis von natürlichem hydraulischen Kalk)

Der Einsatz hydraulischer Mörtel reicht bis in die Antike zurück, mit wenigen Ausnahmen wurden bis zum 17. Jahrhundert nur Kalk-Pozzolan-Mörtel verwendet.

Hydraulische Mörtel auf Basis natürlichen hydraulischen Kalks bestehen aus natürlichem hydraulischen Kalk und Zuschlagstoffen, die nicht zwingend pozzolanisch reagieren müssen.

Leider sind heute die häufigsten hydraulischen Mörtel solche, denen Portlandzement beigemischt ist – eine Praxis, die vor allem bei Restaurierungen abzulehnen ist.

Bei Interesse an Kauf oder ausführlicheren Informationen zur Anwendung empfiehlt sich die Website „Calce Idraulica Naturale“ der „bancadellacalce.it“.

Sicherheitsvorkehrungen bei der Verwendung von Kalk

Alle Kalkarten sind alkalisch und entwickeln beim Kontakt mit Wasser einen sehr hohen pH-Wert ($\text{pH} > 12$). Kalkmörtel sind stark reizend für Haut und Augen, und die Stäube reizen auch die Atemwege. Daher ist beim Umgang mit Kalkmörteln unbedingt Vorsicht geboten und der Einsatz geeigneter persönlicher Schutzausrüstung notwendig.

Ausführung eines Kalkputzes

Putzarten werden, wie auch Mörtel, nach dem verwendeten Bindemittel unterschieden: Unter „Kalkputz“ versteht man einen Putz, bei dem das einzige Bindemittel Kalk ist, entweder Luftkalk (aerisch) und/oder hydraulischer Kalk.

Je nach Art der Mauerstruktur kann ein Kalkputz aus einer oder mehreren Schichten bestehen.

Auf traditionellen Untergründen wie Stein, Ziegel oder Mischungen (Stein und Ziegel) werden vorzugsweise drei Schichten aufgetragen:

1. Rinzafo (Haftputz)

Der Rinzafo wird mit grobkörnigem Zuschlag und hohem Bindemittelanteil hergestellt und dient dazu, den Untergrund zu glätten, damit die folgenden Schichten gut haften. Der Mörtel wird mit der Kelle kraftvoll gegen die Wand geworfen. Die Dicke richtet sich nach Vertiefungen und Unebenheiten; bei starken Unebenheiten werden Ziegelbruchstücke eingearbeitet.

2. Arriccio (Grundputz)

Sobald der Rinzafo vollständig trocken ist, wird die Arriccio-Schicht aufgetragen, die in die Rauheit des Rinzafo eindringen muss, um eine plane und gleichmäßige Oberfläche ohne Wellen zu erzielen. Der Arriccio hat vor allem die Funktion, Dichtigkeit und Haftung zu gewährleisten. Der geringere Bindemittelanteil begrenzt das Schwinden. Er besteht aus einem Teil Kalk, zwei bis drei Teilen Sand mittlerer Körnung und Wasser, wobei Wasserüberschuss vermieden wird, um Risse zu verhindern. Die Dicke des Arriccio richtet sich nach der Beschaffenheit der Wand und sollte nicht unter 0,5 cm liegen. Die Oberfläche wird mit einem Holzreibebrett geglättet, so dass eine feste, nahtlose Struktur ohne Unregelmäßigkeiten entsteht.

3. Stabilitura (Feinputz)

Die letzte Schicht, die Stabilitura, hat vor allem eine ästhetische Funktion. Sie besteht aus Mörtel mit feinem Sand, die Dicke beträgt meist weniger als 0,5 cm, besonders bei kalkreichen Mischungen. Die Stabilitura wird idealerweise auf den noch frischen Arriccio aufgetragen, um eine stabile Verbindung zu gewährleisten.

Wichtige Hinweise zur Ausführung, um Risse (Schwindrisse) und Ablösungen zu vermeiden:

- Die Mauer muss mit gut verdichteten, nicht hohlraumreichen Fugen errichtet sein.
- Die Wand vor dem Verputzen immer gründlich und ausreichend befeuchten.
- Auf günstige Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen achten: Ideal sind Temperaturen zwischen 5 und 20 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 50 %. Zu hohe Temperaturen, Wind oder zu trockene Luft vermeiden.
- Putz immer in mindestens drei Schichten auftragen.
- Vor dem Auftragen der nächsten Schicht muss die vorherige ausreichend ausgehärtet sein.
- Nach Fertigstellung die Oberfläche mehrere Tage mit Wasser besprühen.
- Vor dem Aufbringen von Endbeschichtungen mindestens 10 Tage warten.

Kalkputze – Historischer und moderner Kontext

Der Begriff „Putz“ bezeichnet in der Architektur die äußerste Schicht der Verkleidung von senkrechten Bauteilen. Die Verwendung von Kalkputzen hat eine sehr lange Tradition, bereits in der Antike wurden mehrschichtige Kalkputze verwendet – in der griechischen Stadt Delos finden sich Wände mit zwei bis fünf Schichten. Auch Vitruv empfahl in der römischen Zeit bis zu sieben Schichten.

Für Jahrhunderte schützte und verschönerte der Mensch mit Kalkputzen die Mauerwerke seiner Gebäude. Im 20. Jahrhundert jedoch wurde die Kalktechnik zugunsten von Zement fast vollständig aufgegeben, was zu erheblichen Bauschäden führte. Zudem verschwanden traditionelle Kalkoberflächen wie Kalkfarben und Fresken fast vollständig.

Heute erlebt Kalk eine Renaissance: Die Vorurteile, Kalk sei ein minderwertiges Produkt und weniger stabil als Zement, verlieren an Bedeutung. Kalkputze bieten heute viele Vorteile und gelten als langlebiger, verträglicher und förderlich für das Wohnklima.

Terrazzo Veneziano (Venezianischer Terrazzo)

Der Terrazzo-Boden ist ein typisches Element venezianischer Gebäude aus dem 11. bis 18. Jahrhundert. Ende des 16. Jahrhunderts, als das „Statuto all’Arte dei Terrazzieri“ entstand, waren die Ausführungstechniken ausgereift und der venezianische Terrazzo wurde ein fester Bestandteil der lokalen Architektur.

Besonderheiten:

- Als Bindemittel wurde **Kalk** verwendet, der dem Boden eine hohe Flexibilität und ein sehr geringes Schwinden durch Feuchtigkeitsverlust (niedriger Schrumpfung) verleiht.
- Die Flexibilität war wichtig, weil sich die Fundamente unregelmäßig setzten und somit die darunterliegenden Holzdecken und Balken bogen. Nur ein flexibler Boden konnte Risse durch diese Belastungen verhindern.
- Der Terrazzo wurde ohne Fugen in großen Flächen ausgeführt, weshalb ein Material mit geringem Schrumpfen unerlässlich war.
- Die Mischung wurde mit sehr trockenem Material angerührt und mit einem sogenannten **Battipalo** (Stampfer) verdichtet, um überschüssiges Wasser zu entfernen.
- Traditionell bestehen die Terrazzo-Schichten aus drei Lagen mit unterschiedlichen Anteilen von Kalk, gebranntem Ziegelmehl (Cocciopesto), Puzzolane und Sand.
- Im oberen Belag wurden sorgfältig ausgewählte Steinaggregate von Hand verlegt und teilweise mit farbigen Pigmenten und Steinen zu dekorativen Mosaikeffekten verarbeitet.

Probleme mit der modernen Umsetzung:

- Seit dem 20. Jahrhundert wird oft Portlandzement statt Kalk verwendet, was zwar kostengünstiger und schneller zu verarbeiten ist, jedoch die ursprüngliche Flexibilität und Handwerkskunst zerstört.
- Der zementgebundene Boden ist starrer, wodurch bei kleinen Bewegungen Risse entstehen können.

Pavimenti in Calce (Kalkböden)

Kalk, Cocciopesto (Ziegelmehl) und Gesteinsgranulate wurden schon in der Antike für wunderschöne Kalkböden verwendet, von denen viele noch in archäologischen Stätten im Mittelmeerraum erhalten sind.

Begriffe:

- **Opus signinum:** Kalk, Sand und kleine Gesteinsstücke.
- **Opus segmentatum:** Kalkboden mit eingestreuten Marmorsplittern.
- **Opus sectile:** Farbige Marmorplatten als Intarsien.

Diese Techniken sind historisch vielfältig und reichen von einfachen Kalkböden bis zu aufwendig gestalteten Mosaiken.

Pozzolana – Der „Wunderstoff“

Pozzolana ist eine vulkanische Asche aus der Region um den Vesuv (Neapel). Wird sie mit Kalk und Sand vermischt, entstehen hydraulische Bindemittel, die unter Wasser aushärten können – eine Eigenschaft, die schon die Römer für den Bau von Hafenanlagen nutzten.

Calcis Structio (Calcestruzzo, Kalkbeton)

Der Begriff „Calcestruzzo“ stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „Struktur aus Kalk“.

- Schon 300 v. Chr. benutzten die Römer Kalk-Puzzolan-Mischungen als Baumaterial, z. B. beim Aquädukt Appius.
- Vitruv beschrieb in „De Architectura“ Beton aus Kalk, Steinbruchabfällen (Caementum) und Puzzolane.
- Der antike Kalkbeton war hydraulisch und konnte auch in großen Schichten fest werden, was ihn sehr widerstandsfähig machte.
- Erst ab dem 18. Jahrhundert wurde mit der Erfindung des Portlandzements der Begriff „Beton“ auf zementbasierte Mischungen übertragen.

Der Grund für den Stuck

Stuck ahmt Marmor nach, ist kostengünstiger, aber immer noch sehr wirkungsvoll. Er hat eine uralte Tradition und findet sich weltweit, aus einem Hauptgrund: Jeder möchte seine Wohnungen schmücken. Die Dekorateure in Italien, mit all den Kilometern an Kirchen und Palästen, die im Barock zu füllen waren, hätten sicherlich nicht nur mit Carrara-Marmorblöcken arbeiten können, dem blendend weißen Marmor, wie es die Tradition der Gagini verlangte, oder den feinen Intarsien der sizilianischen Tradition. Im 17. Jahrhundert war

die Praxis üblich, sogar der große Bernini und die bedeutendsten Bildhauer seiner Zeit arbeiteten damit. Und dann, speziell in Sizilien, gab es nicht genug Geld, um ständig Material aus Michelangelos Steinbrüchen zu beziehen. Palermo, streng auf Weiß bedacht, nach dem Vorbild der verlorenen Tribüne des Doms, hungrig nach absolut schneeweißem Skulpturmarmor, griff immer wieder auf Stuck zurück für seine allegorischen Figuren, die in allen Kirchen und zahllosen Oratorien nötig waren.

In der Mischung treffen zwei Materialien besonders aufeinander: Löschkalk (Calciumhydroxid), der auch einen poetischeren Namen trägt – Kalkmilch – mit Marmorstaub vermischt. Um das Material zu löschen, das normalerweise „lebendig“ gedacht wird, braucht es ein fast zauberhaftes Verfahren, würdig einer Szene aus Macbeth. Man gießt Wasser dazu und die Flüssigkeit erhitzt sich schnell auf hundert Grad, kocht förmlich. Das Volumen nimmt um etwa 7-8 % zu und der Kalk ist endlich hydriert. Andere nennen es „Grasso di calce“, oder „Weiß- oder Gips von Florenz“, oder schließlich, als wäre es eine Erfindung eines symbolistischen Dichters, „Weiß des weißen Kalkes“, wo die Tautologie in vollkommener Reinheit triumphiert. Obwohl es in Wirklichkeit eine Substanz ist, die in vielen Bereichen verwendet wird, wo das Material leicht verschmutzt – in der Chemie, bei Erdöl, bei der Reinigung schmutzigen Wassers von Tanks. Serpotta fügt diesem üblichen Verfahren seine spezielle Magie hinzu, um Gespenster des Daseins zu imitieren, Körper, die lebendig wirken. Es wird vermutet, dass sein Geheimnis in der Mischung aus Casein lag, kombiniert mit einer geheimnisvollen Gipsmenge, eine Quadratur des Kreises mit einem weiteren milchfarbenen Material; aber heute gibt es keine Gewissheit. Die Politur war dann ein Meisterwerk, ein Patent der Perfektion, das diese Körper hart machte, runde und verführerisch weiche Objekte. Seine molligen Putten waren immer bereit für jede Drehung und jede Art von Akrobatik. Man muss das Material schnell und gut bearbeiten, weil es sofort fest wird und dann sehr hart, nicht mehr formbar.

An dieser Stelle wirkte Serpotta seine persönliche Magie, die Politur, deren chemische Bestandteile zwar bekannt sind, die aber ihre Geheimnisse bewahrt, ähnlich den Lacken der Stradivari-Geigen. Die Zutaten waren immer der vielseitige Grasso di calce, Wachs und Marmorstaub – und dann Muskelkraft ohne Ende, denn das Schleifen war langwierig, sorgfältig und wurde mit Leinentüchern und heißen Spachteln durchgeführt. Stuck liebt Innenräume, ist nicht für Außen geeignet und verabscheut Wassereintritt, wie es in vielen Oratorien dramatisch zu sehen ist.

Tatsache ist, dass auf den Baustellen immer gehustet wurde. Der Stuckateur, vor der Ära der Masken, atmete feinen Staub ein, der nie aus seinem Körper verschwand: Die trockenen, ständigen Hustenstöße waren der eigentliche Takt der Arbeit, sein geheimes Metrum, das einen wissenschaftlichen, feierlichen Namen trägt: Pneumokoniose. Dies ist ein Sammelbegriff, der viele spezifische Details verbirgt. Die Anthrakose ist die „schwarze Lunge“, wegen der Steinkohlenpartikel, die in die Atemwege gelangen und sie unbrauchbar machen, ein Monument des Schadens, das den Atem raubt.

In der Welt des Stucks jedoch wird alles weiß, wie eine Statue, ähnlich wie bei der Silikose. Dieses Material scheint schwach, zerbrechlich gegen die Zeit, doch es ist voller List und Ausdauer! In Innenräumen geschützt, hält sich der Stuck besser als manche prachtvollen Grabmarmor, die gelblich werden und mit der Zeit zerbröckeln.

Die Bauherren wussten, dass es ein widerstandsfähiges Material war, und konnten auch merkwürdige Anwendungen für diese Technik in Betracht ziehen. So sah der Vertrag für das verlorene Oratorium San Bartolomeo degli Incurabili vor, dass die Skulpturen wirklich widerstandsfähig sein sollten: „stark auch gegen Kanonenkugeln, die vom Schloss abgefeuert werden“, also vom nahegelegenen Forte di Castellammare, und „falls sie herunterfallen sollten, müssen sie neu gemacht werden“. Das passierte nicht, aber die Vorsicht war offenbar nie zu viel.

Marmorino

Marmorino ist ein Begriff mit komplexer Bedeutung, der häufig missverstanden wird und zahlreiche Bedeutungen umfasst, was auf eine unzählige Reihe von Variationen im Laufe der Geschichte hinweist. Als „Marmorino“ wird der Mörtel bezeichnet, der aus gelöschtem Kalk (gereifter Sumpfkalk) gemischt mit Marmorpulver hergestellt und für plastische Dekorationen und/oder als Feinputz verwendet wird.

Marmorino ist auch ein Synonym für Stuck, wenn die Masse so behandelt wird, dass sie die Konsistenz und den Glanz von Marmoroberflächen imitiert.

Der Begriff „Marmorino“ bezieht sich jedoch häufiger auf eine bestimmte Art von Putz (marmorierter Putz, Marmorino-Putz).

Im „Technischen Wörterbuch“ von 1884, unter dem Stichwort „marmorierter Putz“ heißt es:
„Die alten Römer fertigten einen farbigen Putz an und trugen ihn in sechs verschiedenen Schichten auf, die zusammen nicht dicker als etwa 27 Millimeter waren: Die ersten drei Schichten bestanden aus Kalk und Sand oder gewöhnlichem Kies und entsprachen den heute üblichen Putzarten; die anderen drei Schichten wurden mit einer Mischung aus Kalk und Marmorpulver aufgetragen, und die letzte Schicht wurde mit einem Holzkelle glatt gestrichen und anschließend mit Marmor gerollt, um eine matte, also glänzlose Politur zu erzielen. Auf diesen Putz wurden Farben aufgetragen, die durch Einreiben mit Wachs, das in reinem Öl erhitzt wurde, leuchtend erhalten blieben. Nach dem Abkühlen wurde die Oberfläche nochmals erhitzt, indem man eine Wärmequelle an die Wand hielt, damit der Putz die Flüssigkeit vollständig aufsog.“

Die Verwendung von Marmorino für die Gebäudefinition war somit bereits zu römischer Zeit bekannt; damals wurde er in dicken, mehrfachen Schichten aufgetragen, um eine glatte, kompakte und ebene Oberfläche zu erhalten.

Manchmal bestanden die unteren Schichten aus Kalk und Koccio Pesto (Ziegelbruch), welches eine höhere Aufnahme von löslichen Salzen in feuchten Mauern ermöglichte.

Im Mittelalter wurde der Putz mit Marmorpulver nur als Grundsicht verwendet, die dann mit Fresken bemalt wurde. Diese Anwendung blieb auf das Gebiet der oberen Adria beschränkt und stammt wahrscheinlich aus dem Byzantinischen Reich.

Die damalige Arbeitsorganisation erlaubte keine komplexen Arbeiten, sodass Ausführungen mit nur einer dünnen Schicht von zwei bis drei Millimetern üblich waren, mit einer geglätteten, wellenförmigen Oberfläche, die weiß war wie eine Maltafel.

Ab Ende des 15. Jahrhunderts entstanden zahlreiche Bauwerke, die versuchten, die römische Architektur wiederaufzunehmen. Diese erhielten einfache Glättungen aus Kalk und Marmorpulver auf einem sandhaltigen Putz, was heute als Kalkspachteltechnik bezeichnet wird, damals mit Kelle ausgeführt, und allmählich zur ursprünglichen Marmorino-Konfiguration mit einer Koccio-Pesto-Schicht ergänzt wurde. Diese elegante Finissage prägte viele Bauten der venezianischen Renaissance, veredelte die Fassaden am Canal Grande, die sich mit den istrischen Steinfassaden vermischten, ebenso wie viele weniger bedeutende Oberflächen in den historischen Zentren Venetiens.

Marmorino charakterisierte auch die großartigen Werke berühmter venezianischer Künstler wie Sansovino, Palladio, Vincenzo Scamozzi und viele andere. Werke wie die Procuratie Nuove, die Kirchen San Giorgio und Il Redentore in Venedig, die venezianischen Villen in Malcontenta, Maser und La Rotonda sowie die Loggetta am Markusplatz sind weltweit bekannt, auch wegen ihrer kostbaren Oberfläche.

Diese Oberfläche simulierte das edle Material Stein, wie am Beispiel des Palazzo dei Diamanti in Ferrara zu sehen ist, wo der Steinbelag bis zum Ende des Hauptgeschosses reicht, während der Putz den Steineffekt imitierte – ein Kunstgriff, der viele Architekturen jener Zeit prägte.

Das 17. und 18. Jahrhundert sind die Zeiträume mit der größten Verbreitung von Marmorino, besonders im Veneto. Die Kalk-Marmorpulver-Schicht ist dicker, durchschnittlich vier Millimeter, und die Verarbeitung erfolgt mit größeren Werkzeugen, die eine perfekte Ebenheit der Oberfläche ermöglichen.

Diese Schichten lagen meist auf einer weiteren Schicht aus Kalk und Koccio Pesto, die besonders für feuchte Zonen geeignet war. Aus diesen Ausführungen, die viele Gebäude im Veneto prägen, entstand auch die Bezeichnung „Venezianischer Marmorino“, die sich auf das Gesamtsystem dieser unterschiedlichen Putzschichten bezieht.

Wie Naturstein wurde auch künstlicher Stein – der Marmorino – behandelt, um seinen Glanz und seine Widerstandsfähigkeit gegen Witterung zu erhöhen. Im Werk „Die Architektur“ von Leon Battista Alberti wird von einer Wachspolitur und einer Seifenpolitur berichtet.

Die erste dieser Poliermethoden, eine Mischung aus Wachs, Harz, Mastix und Trocknungsöl, wurde auf trockenem Putz aufgetragen und mit Hitze durch Kohlebecken in die Oberfläche eingearbeitet; danach wurde die Oberfläche sorgfältig poliert.

Die zweite Methode war einfacher und bestand darin, die letzte Schicht mit weißer, in warmem Wasser gelöster Seife zu glätten.

Diese beiden Oberflächenbehandlungen hatten gegensätzliche Wirkungen: Die erste erzeugte eine satte Farbintensität und war geeignet für kleine, farbintensive Arbeiten, die zweite sorgte für eine weiße Oberfläche und war besser für große helle Wände geeignet.

Es sei erwähnt, dass die Enkaustik manchmal mit der alten Technik des Enkaustikos verwechselt wird, bei der mit in Wachs gemischten Farben auf Putz gemalt wird.

Im 19. Jahrhundert gab es große Veränderungen durch steigende Arbeitskosten. Die aufwendigen Kalkarbeiten wurden seltener, und die Herstellung von sogenannten „Marmorini“ aus Gips und Leim nahm zu.

Tadelakt – Die wasserdichte Eleganz der marokkanischen Tradition

Tadelakt ist eine antike marokkanische Verputztechnik, die ursprünglich entwickelt wurde, um Zisternen für die Trinkwasserlagerung abzudichten, und später für die Gestaltung feuchter Räume wie Hammams, Brunnen, Adelspaläste, Badezimmer und Riads übernommen wurde. Es ist ein edler Ausdruck der marokkanischen materiellen Kultur und sollte stets unter voller Achtung der Besonderheiten der Materialien und traditionellen Techniken angeboten werden.

Seine außergewöhnlichen wasserdichten Eigenschaften sind vergleichbar, wenn nicht sogar besser als die der römischen Mörtel auf Basis von Cocciopesto, die für Aquädukte, Zisternen und Thermen verwendet wurden. Fachgerecht ausgeführt, ist Tadelakt vollkommen wasserdicht und sowohl für Innen- als auch Außenbereiche geeignet, selbst bei direktem Wasserkontakt.

Der Begriff „Tadelakt“ stammt vom arabischen Wort „dellek“, was „kneten“ oder „zerdrücken“ bedeutet – eine direkte Anspielung auf den besonderen Arbeitsprozess, der die ästhetischen und funktionalen Eigenschaften bestimmt.

Der Kalk im Tadelakt

Echter Tadelakt wird ausschließlich aus handwerklich hergestelltem Kalk gewonnen, der in den historischen Holzöfen von Marrakesch nach einem von berberischen Handwerkern über Generationen überlieferten Wissen gebrannt wird. Verwendet wird ein unreiner Kalkstein, der in intermittierenden Öfen mit Oliven- und Palmenholz etwa 30 Stunden lang gebrannt wird. Nach dem Brennvorgang wird der Kalk mit einer geringen Menge Wasser gelöscht, mit einem Sieb von 2–3 mm gesiebt und dann gebrauchsfertig verpackt. Auf der Baustelle wird der Tadelakt-Kalk einfach nur mit Wasser gemischt, ohne Zugabe von Sand: Der im Kalkstein verbleibende ungebrannte Anteil wirkt als natürlicher Zuschlagstoff. Es handelt sich um einen schwach hydraulischen Kalk mit einzigartigen Eigenschaften hinsichtlich Plastizität, Reinheit und Verarbeitbarkeit.

Auftrag und Endbearbeitung

Tadelakt wird manuell mit einem Holzglätter in einer einzigen Schicht von ca. 1 cm auf einen rauen, gut saugenden Untergrund aufgetragen. Direkt nach dem Auftragen wird der Putz mit speziellen Flussteinen geglättet und anschließend mit schwarzer Seife behandelt und poliert, was die oberflächliche Karbonatisierung fördert und zur Abdichtung beiträgt.

Das Ergebnis ist eine seidige, lebendige, leicht wellige Oberfläche, die das Licht weich und elegant reflektiert und einen unvergleichlich materiellen und edlen Effekt schenkt.

Kalkstuck

„...Stuck ist eine Zusammensetzung, die sich wie Marmor polieren lässt und dessen Erscheinung hat. Die besten und haltbarsten sind diejenigen, die mit Kalk gemacht wurden, wie es die Alten taten. In den Ruinen vieler alter Gebäude in Rom findet man noch hervorragend erhaltene Stuckstücke, obwohl sie 10 bis 12 Jahrhunderte der Feuchtigkeit und allen Witterungseinflüssen ausgesetzt waren...“ so schreibt Jean-Baptiste Rondelet (1743–1829) in seinem „Theoretisch-praktischen Lehrbuch der Baukunst“.

Früher verstand man unter „Stuck“ also eine Mischung aus Kalk und Stein- oder Marmorpulver, die eine formbare und vor dem Abbinden an Ort und Stelle färbbare Masse lieferte.

Heute wird fälschlicherweise der Begriff Stuck sowohl für Kalkstuck als auch für Gipsstuck und andere Bindemittel verwendet, doch die daraus entstehenden Mischungen unterscheiden sich stark.

Die Verwendung von Gips setzte ab dem 19. Jahrhundert aus hauptsächlich wirtschaftlichen Gründen sowie wegen der Schnelligkeit und einfachen Verarbeitung durch. Gips eignet sich gut für Arbeiten an Werkbänken oder in Formen und ist daher besser für die industrielle Fertigung geeignet.

Moderne Stucke und Marmorinos

Die Hauptkomponente moderner Stucke und Marmorinos ist eine Emulsion aus Copolymeren (Acryl-,

Styrol-Acryl- und Acetovinyl-Copolymere) in Wasser.

Dieses Latex wird industriell mit Füllstoffen und künstlichen Pigmenten vorgemischt, um Beschichtungen zu erhalten, die mit Glättkelle und/oder Pinsel aufgetragen werden können, auch in nur einer Schicht.

Diese Produkte, deren ästhetischer Wert im Vergleich zu traditionellen Marmorinos und Stucken deutlich eingeschränkt ist, lassen sich leicht auf jedem Untergrund auch von nicht spezialisierten Handwerkern und Heimwerkern verarbeiten.

Sie füllen ganze Regale in großen Baumärkten und werden heute häufig in der Innendekoration eingesetzt – unterstützt durch den unermüdlichen Einsatz von selbsternannten Promotern, die mit einer Plastikglättkelle in der Hand den Kunden die „wunderbaren Dekorationseffekte zeigen, die in wenigen Augenblicken und ganz ohne Aufwand“ erzielt werden können.

Der einzige „Haken“ ist, dass es sich um sogenannte „Kontinuierlich aufgetragene

Kunststoffbeschichtungen“ (RPAC) handelt, wie sie die Norm UNI 10997:2002 definiert – und nichts weiter!

Die Begriffe Stuck und Marmorino sollten deshalb mit Bedacht verwendet, verteidigt und nicht wie heute üblich für Produkte missbraucht werden, die nichts mit der Geschichte und Tradition zu tun haben.

Was sind Kalkfarben?

In Wasser dispergierter Kalk, der das Aussehen von Milch annimmt, stellt das älteste, günstigste und edelste System zur Farbgebung von architektonischen Oberflächen innen und außen dar.

Kalkfarben sind von Natur aus weiß und erlauben eine äußerst reiche „Farbpalette“, indem anorganische Pigmente (z. B. Erdfarben) und Mineroxidpigmente verwendet werden – dieselben, die auch im Fresko zum Einsatz kommen.

Die Qualität und Haltbarkeit einer Kalkanstrichbehandlung sind ausgezeichnet, hängen jedoch stark von der Applikationsmethode, der Kompetenz und dem Feingefühl der ausführenden Fachkräfte ab.

Die optischen Eigenschaften von Calcit und Kalkfarben

Eine der wichtigsten physikalischen Eigenschaften von Calcit ist die Doppelbrechung, das heißt die Aufspaltung von Lichtstrahlen, die einen Kristall durchdringen.

Legt man einen transparenten Rhomboeder auf einen Punkt, der auf ein Blatt Papier gezeichnet ist, und betrachtet ihn durch den Kristall, erscheint der Punkt doppelt.

Beim Drehen des Kristalls bleibt ein Punkt (gewöhnlicher Strahl) stationär, während ein anderer Punkt (außerordentlicher Strahl) sich zusammen mit dem Kristall um den stationären Punkt dreht.

Doppelbrechung ist eine physikalische Eigenschaft aller dimetrischen und trimetrischen Minerale, aber bei Calcit besonders ausgeprägt durch den großen Unterschied zwischen den beiden Brechungsindizes (1,658 für den gewöhnlichen Strahl und 1,486 für den außerordentlichen).

Das erklärt, warum eine Kalkfarbe, die nach der Karbonatisierung aus einer Decke von Milliarden von winzigen Calcitkristallen besteht, ästhetische Qualitäten bietet, die einzigartig und nicht reproduzierbar sind.

Formulierung und Auftrag einer Kalkfarbe

Früher wurden Kalkfarben direkt auf der Baustelle hergestellt, indem einfach Kalkmilch (gelöschter Kalk in Wasser dispergiert) verwendet wurde.

Auch heute sind Materialien für Kalkfarben leicht erhältlich, insbesondere der gelöschte Kalk („Grassello“), der im Handel verfügbar ist. Dennoch ist Vorsicht geboten, denn nur qualitativ hochwertiger und gereifter Kalk liefert die besten Ergebnisse.

Zur Einfärbung der weißen Basis werden Pigmente hinzugefügt, die ebenfalls noch erhältlich sind.

Falls nötig, kann ein Fixativ eingesetzt werden, das tierischen Ursprungs (Milch und Derivate, Hautleim, Fischleim usw.), pflanzlichen Ursprungs (Harze, Stärken usw.) oder synthetisch (Acryl, Vinyl usw.) sein kann. Leider sind viele der notwendigen Kenntnisse für die Herstellung und den korrekten Auftrag von Kalkfarben verloren gegangen, weshalb nicht alle, die mit diesen Materialien arbeiten, die gewünschten Resultate erzielen.

Mit der Veröffentlichung geeigneter Fachliteratur und der Organisation von Kursen bemüht sich das Italienische Kalkforum um die Wiederbelebung und Weitergabe des Wissens über Kalkfarben.

Haltbarkeit von Kalkfarben

Die Annahme, Kalkfarben seien wenig haltbar, ist völlig unbegründet. Ebenso ist die Meinung falsch, Kalkfarben seien für Außenflächen ungeeignet, weil sie mit den heutigen Witterungsbedingungen nicht kompatibel wären.

Warum das Comeback der Kalkfarben?

Seit den 1960er-Jahren wurden traditionelle Kalkanstriche fast vollständig durch moderne

„Dispersionsfarben“ auf Basis polymerer Bindemittel und chemisch hergestellter Pigmente ersetzt.

Diese Farben führten jedoch zu einer Reihe von schwerwiegenden Problemen, insbesondere ästhetischer und konservatorischer Art bei historischen Gebäuden.

Heute erlebt die Kalkfarbe eine zunehmende Renaissance, da sie einzigartige Vorteile bietet, darunter:

- Kalkfarben schützen Mauerwerk perfekt und sorgen besonders für Atmungsaktivität und Wohnkomfort – ein oft bei modernen Farben vernachlässigter Faktor
- Kalkfarben sind chemisch-physikalisch vollständig kompatibel mit traditionellen Putzen, verhindern Abblätterungen und den daraus resultierenden Verfall von Mauerwerk
- Die Pflege von Kalkfarben ist einfach und kostengünstig; es ist z. B. keine Entfernung früherer Farbschichten oder das Auftragen synthetischer Primer nötig, um die Haftung neuer Schichten zu gewährleisten
- Kalkfarben besitzen einen sehr hohen ästhetischen Wert, bedingt durch die optischen Eigenschaften von Calcit; die Tiefe und Vielfalt der Kalkfarben sind Qualitäten, die keine andere Farbart erreicht.

KALK IN DER KUNST

Fresko

Die „Fresko“-Malerei oder „Buon Fresco“ ist eine seit der Antike bevorzugte Wandmaltechnik.

Nach der Wortherkunft bezeichnet „Fresko“ jede Malerei, die auf frischen, also noch nicht ausgehärteten oder besser noch nicht karbonatisierten Putz aufgetragen wird.

Die Pigmente, einfach in Wasser angerührt, werden aus solchen ausgewählt, die mit Kalk verträglich sind, und haften am Untergrund ohne organische Bindemittel, da sie Teil des Karbonatisierungsprozesses des Kalks im Putz werden.

Für Fresken ist ein guter Putzuntergrund erforderlich, daher müssen Reibputz (Rinzaffo), Armierungsputz (Arriccio) und Feinputz (Stabilitura) mit größter Sorgfalt ausgeführt werden, wobei die Auswahl der Zuschläge und das Verhältnis zum Kalk zu beachten sind.

Zudem verlangt das Fresko eine gewisse Schnelligkeit bei der Ausführung, da der Putz vor der vollständigen Karbonatisierung bemalt werden muss: Deshalb trägt man den letzten Putzauftrag und die Malerei in begrenzten Abschnitten auf („Tagesabschnitte“ oder „Journées“).

Wie erkennt man ein Fresko?

Einige einfache Beobachtungen können helfen, ein Fresko zu erkennen. Falls diese nicht ausreichen, sind Laboranalysen möglich.

Zu beachten sind:

- **Brillanz und Haltbarkeit der Farben.**
Freskofarben wirken meist brillanter aufgrund der Rekrystallisation von Kalkspat an der Oberfläche. Dieser Kalkspatschleier sorgt auch für die lange Haltbarkeit von Fresken. Diese Merkmale allein sind jedoch nicht zwingend.
- **Begrenzte Farbpalette.**
Nicht alle Pigmente sind für Fresko geeignet, da manche durch Kalk verändert werden. Daher ist die Farbpalette eingeschränkt. Wo mehr Farben gewünscht waren, wurden zusätzliche Flächen „trocken“ (a secco) übermalt.
- **Oberflächenmerkmale.**
Bei schrägem Licht können an der bemalten Fläche manchmal feine Ritzungen sichtbar sein, die der Zeichnung entsprechen. Dies führt oft fälschlich zur Annahme, es handle sich um ein reines Fresko. Tatsächlich wurden diese Ritzungen in frischem Putz gemacht, die Farbe aber später „trocken“ aufgetragen – oft aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen. Fehlen solche Ritzungen, schließt das ein Fresko nicht aus, z.B. bei Fassaden mit einfarbiger Fläche, die trotzdem als Fresko ausgeführt sind. Signifikanter für die Bestimmung der Freskotechnik ist das Vorhandensein der „Tagesabschnitte“ (Journées).

- **Schäden.**

Fehlt bei „trocken“ aufgetragener Farbe etwas, ist die glatte Putzoberfläche sichtbar. Beim Fresko fallen mit der Farbe meist auch wenige Millimeter Putz ab, da die Farbe tief eindringt. Die Oberfläche wirkt dann rau und verblasst; beim Darüberstreichen lösen sich leicht kleine Körnchen.

Graffito

Das Graffito oder Sgraffito ist eine spezielle dekorative Putztechnik mit zwei unterschiedlich gefärbten Farbschichten.

Durch Ritzungen im oberen Farbstreifen wird dieser partiell abgetragen und die darunterliegende Farbe sichtbar.

Die Graffiti-Dekoration entsteht, indem auf den Kalk-Reibputz (Rinzaffo) eine Schicht Kalkarmierungsputz (Arriccio) mit dunklerer Farbe als Grund aufgetragen wird.

Darauf folgt eine weitere Kalkfeinputzschicht in anderer, meist hellerer Farbe, die zur übrigen Fassade passt. Mit einer Stahlspitze wird dann die oberste Schicht nach dem vorgezeichneten Muster abgetragen, sodass der dunkle Untergrund sichtbar wird.

Farben und Fresko

Nicht alle Pigmente sind für Kalk und die Freskotechnik geeignet.

Die Laugenwirkung des Kalks „greift“ manche Pigmente an oder verändert deren Farbeigenschaften.

Pigmente, die nicht kalkverträglich sind, müssen „trocken“ verwendet werden, d.h. mit organischem Bindemittel gemischt und erst nach Karbonatisierung der Oberfläche aufgetragen werden.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten kalkverträglichen Pigmente sowie ihre Licht- und Luftstabilität aufgelistet.

NAME	ZUSAMMENSETZUNG	STABILITÄT
Weiß San Giovanni	Calciumcarbonat	****
Titanweiß	Titandioxid	****
Himmelblau (Cerulean)	Kobalttinoxid	****
Kobaltblau	Kobaltaluminat	****
Manganblau	Manganat	***
Ultramarinblau	Natriumsulfid und Aluminiumsilikat	****
Kadmiumgelb	Kadmiumsulfid	****
Schwarz (Lack)	Anilin	**
Rußschwarz	Verkohlungsprodukt	****
Ocker	Naturerde	****
Gelber Ocker	Naturerde	****
Roter Ocker	Naturerde	****
Gebrannte Umbra	Gebrannte Naturerde	****
Natürliche Umbra	Naturerde	****
Marsorange	Eisenoxid	***
Kadmiumrot	Kadmiumselensulfid	****
Marsrot	Eisenoxid	****
Pozzuoli-Rot	Naturerde	****
Venedigrot	Eisenoxid	****
Molybdänrot	Bleimolybdat	****

Zinnober	Quecksilbersulfid	**
Gebrannte Siena	Naturerde	****
Natürliche Siena	Naturerde	****
Grünerde	Naturerde	****
Chromgrün	Hydratisiertes Chromoxid	****
Smaragdgrün	Hydratisiertes Chromoxid	***
Kobaltviolett	Kobaltarsonat	****

Freskotechnik

Die Freskotechnik hat im Laufe der Jahrhunderte bedeutende Veränderungen erfahren.

Schon im antiken Griechenland war das Verfahren vermutlich bekannt, sicher wurde es aber bei den Werken in Pompeji angewandt.

Von der frühchristlichen Zeit bis zum Frühmittelalter war die Ausführung des Freskos mit dem sogenannten „Pontate“-System verbunden, das die Arbeit in aufeinanderfolgenden Ebenen auf dem Mauerabschnitt vor den Gerüstbrettern vorsah. Dieses Verfahren wurde im italienischen Spät-13. Jahrhundert durch die Praxis ersetzt, „nach Tagen“ zu arbeiten, indem der Tonachino (Grundputz) nur auf dem Wandabschnitt aufgetragen wurde, der an einem Tag bemalt werden sollte. Die Verwendung des „Tagesabschnitt“-Systems wird im Wesentlichen mit Giotto verbunden, der diese neue Methode in der großen Halle der Oberen Basilika von Assisi einführte.

Zur gleichen Zeit verbreitete sich die Technik der „Sinopien“ – vorbereitende Zeichnungen in ockerroter Farbe, die über einer zuvor mit Kohle gezogenen Skizze auf der Arriccio-Schicht ausgeführt wurden. Die ältesten und umfassendsten Informationen über die Freskomaltradition dieser Epoche liefert das „Libro dell’arte“ von Cennino Cennini.

Die Nutzung der Sinopien hielt sich bis ins 15. Jahrhundert, bevor sie vom „Spolvero“-System abgelöst wurde.

Bei diesem Verfahren wurde die vorbereitende Zeichnung auf Papier in der Größe des auszuführenden Freskos angefertigt, das mit Metallstiften entlang der Konturen perforiert wurde; anschließend legte man das Papier auf den Putz und strich mit einem Beutel Kohlepulver darüber, das durch die Löcher fiel und die Konturen auf die Wand übertrug.

Ab Anfang des 16. Jahrhunderts wurde das Papier durch den „Cartone“ ersetzt, der es ermöglichte, die Konturen der Komposition direkt auf dem Putz zu fixieren, wodurch das Spolvero-Verfahren entfiel. Legte man den Cartone auf den feuchten Putz, übte man mit einem spitzen Werkzeug leichten Druck auf die Konturen aus, um eine Spur auf der darunterliegenden Wand zu hinterlassen.

Die Aufgabe des Künstlers bestand fast ausschließlich darin, die vorbereitende Zeichnung anzufertigen, während die Freskenmalerei von Helfern ausgeführt wurde.

Bianco San Giovanni: das Weiß, das aus Weiß entsteht

Weiß ist die wichtigste Farbe in der Kunst- und Architekturgeschichte.

Die ersten bekannten und am häufigsten verwendeten weißen Pigmente stammen aus der einfachen Mahlung von Kalksteinen (amorphen Calciumcarbonaten, Bioklasten, Marmor usw.), Tonsteinen (vor allem Kaoline) und Gipsen.

Ihre Zusammensetzung, Deckkraft sowie der Farbton (weiß mit Tendenzen zu Gelb, Rosa, Grau usw.) variieren je nach chemisch-physikalischer Natur und Verunreinigungen im Rohmaterial.

Die weißen Pigmente sind an den spezifischen Namen zu erkennen, die die zahlreichen, im Laufe der Zeit vermarkteten Sorten tragen.

In Frankreich waren die traditionellen Abbau- und Herstellungsgebiete die Regionen Burgund (Weiß von Burgund), Champagne (Weiß von Champagne) und Meudon bei Paris (Weiß von Meudon); in Italien die Gegend um Verona und allgemein Mittelitalien (Weiß von Alabastro, Weiß Marmina usw.).

Weitere historische Lagerstätten liegen auf den Inseln Kreta (Weiß von Kreta) und Melos (Weiß von Melino) sowie in der Region Kyrene.

Die Herstellung einer künstlichen Variante eines mineralischen weißen Pigments, die noch weißer und reiner als die natürlichen war, ist eine Folge der Wandmalerei und des Freskos.

Zur Herstellung von Putzen wurde schon in der Antike Kalkstein gebrannt, um gelöschten Kalk zu

gewinnen, der anschließend mit Wasser gelöscht und reifen gelassen wurde, um Kalkmilch zu erzeugen. Aus der Verarbeitung von Kalk entsteht das Pigment Weiß, bekannt als Bianco San Giovanni, auch bezeichnet als Armenini-Weiß, Cennini-Weiß, Kalkweiß, Sangiovanni-Weiß usw. Seine Herstellung ist von Cennino Cennini im Kapitel 58 seines „Libro dell’Arte“ sorgfältig beschrieben, wo es als ideales Weiß für die Darstellung von Hauttönen zusammen mit der Sinopie (einer besonderen roten Ockerfarbe) angegeben wird.

Über das Bianco San Giovanni schreibt Cennini:

„Nimm den leicht angerauten, schön weißen Kalk; gib ihn in ein Gefäß und wässere ihn acht Tage lang täglich mit klarem Wasser, während du Kalk und Wasser gut vermischst, damit alle Fettigkeit ausgeschieden wird. Dann forme kleine Stücke, lege sie auf die Dächer in die Sonne; je älter diese Stücke sind, desto weißer und besser sind sie.“

Bianco San Giovanni ist somit das Weißpigment, das aus dem Weiß des Kalkes entsteht.

Ein reines Calciumcarbonat, das durch die Karbonatisierung von gelöschtem Kalk entsteht, wenn es längere Zeit der Luft ausgesetzt und anschließend vermahlen wird. Es besteht aus mikrometrischen und nanometrischen Calcitkristallen, die Licht auf erstaunliche Weise absorbieren, reflektieren und brechen und es zu einem der bekanntesten und geschätztesten Pigmente aller Zeiten für Künstler, Maler und Architekten machen.

KALK IM DENKMALSCHUTZ

Mörtel für die Restaurierung antiker Kunstwerke

Nach einem Überblick über fortschrittliche Diagnosetechniken, die eine umfassende Charakterisierung antiker Materialien ermöglichen, mit dem Ziel, Mörtel möglichst originalgetreu zu rekonstruieren, wird die Behandlung von Mörteln auf Kalkbasis, natürlichem hydraulischem Kalk und künstlichem hydraulischem Kalk „pozzolanisch“ fortgesetzt.

Für jeden dieser Mörteltypen werden die unterschiedlichen Faktoren diskutiert, die ihr Verhalten im Einsatz bestimmen, mit Bezug auf: Herstellungsverfahren, Abbinde- und Erhärtungsprozesse, Art der Hydratationsprodukte, Dauer der Reifung, mechanische Festigkeit, Gesamtporosität und Porengrößenverteilung (die den Feuchtigkeitstransport und die Dauerhaftigkeit beeinflussen), Art des Zuschlags (Natur, Korngrößenverteilung, Morphologie), Bindemittel-/Zuschlagsverhältnis sowie Mikrostruktur des Endprodukts.

Kalk und Denkmalpflege

Im Bereich der Wiederherstellung und Restaurierung alter Bauwerke stellt der Einsatz von Bindemitteln, die nicht mit den vorhandenen Materialien kompatibel sind, einen der wichtigsten Risikofaktoren für den Erhalt unseres architektonischen, künstlerischen und archäologischen Erbes dar.

Der unkritische Gebrauch ungeeigneter Bindemittel, insbesondere zementhaltiger, für die Formulierung von Verlegemörteln, Stuckaturen und Putzen stellt aufgrund der chemisch-physikalischen Inkompatibilität mit den traditionellen Untergründen nach wie vor eines der Hauptprobleme bei der Restaurierung antiker Bauwerke dar.

Experimentelle Daten und wissenschaftliche Untersuchungen zeigen Kalk als das einzige Material, das mit den meisten vom Menschen vom Altertum bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts errichteten Werken wirklich kompatibel ist.

Diese Erkenntnis macht deutlich, dass der Einsatz von Kalk bei Restaurierungen meistens eine zwingende Wahl darstellt.

Der Gebrauch von Kalk ist somit eine logische Konsequenz eines Prozesses der Substitution und Ergänzung eines vorhandenen Materials und sollte jede gute Restaurierungsmaßnahme leiten.

Kalk versus Zement

Kalk und Zement sind als Baustoffe sehr unterschiedliche Bindemittel.

Jeder Vergleich wäre überflüssig, wenn jedes Material ausschließlich in den Baubereichen eingesetzt würde, die seinen chemisch-physikalischen und mechanischen Eigenschaften entsprechen. Doch dem ist nicht so. Zwar ist es wahr, dass moderne Architektur und die meisten heute errichteten Bauwerke ohne Portlandzement nicht existieren könnten, aber es ist inzwischen allgemein anerkannt, dass dieser niemals oder fast niemals im Denkmalschutz eingesetzt werden sollte.

In der heutigen Bindemittelproduktion bilden Luftkalk und Portlandzement nur die „Extreme“ eines breiten Produktspektrums, zu dem auch natürliche hydraulische Kalke (NHL) gehören, von denen viele kompatibel sind und in zahlreichen Restaurierungsarbeiten eingesetzt werden können.

Dennoch wird Portlandzement trotz völliger fehlender Normen und geringer Sensibilität der Anwender in

Restaurierungsbaustellen noch immer häufig verwendet.
Ein enormer Schaden für unser Kulturerbe!

Kalkwasser, Nanokalk und Restaurierung

Kalk wird seit jeher in gesättigter Lösung (Kalkwasser) und/oder in Suspension (Kalkmilch) bei der Konsolidierung von architektonischen Oberflächen mit karbonatischer Matrix (Putze, Fresken, Wandmalereien, Natursteinmaterialien usw.) mit hervorragenden Ergebnissen eingesetzt. Die große Verdienste des Einsatzes von Kalkwasser und/oder Kalkmilch als Konsolidierungsmittel liegen in der absoluten Kompatibilität mit den geschädigten Untergründen, bedingt durch die Umwandlung von Ca(OH)_2 zu CaCO_3 durch Kohlendioxid (CO_2). Neben diesen Behandlungen setzt sich heute der Einsatz von Nanokalk durch. Nanokalk sind Calciumhydroxidpartikel nanometrischer Größe, dispergiert nicht in Wasser, sondern in Isopropylalkohol, was mehrere Vorteile mit sich bringt.

Warum Kalk und nicht Zement?

Kalk wurde als Baustoffbindemittel über Jahrtausende verwendet. Das Wissen um seine Eigenschaften und Anwendung ist in den letzten 100 Jahren verloren gegangen. Ein Großteil der vor 1900 gebauten Gebäude wurde mit Kalk errichtet, und Kalk ist noch immer in der überwiegenden Mehrheit unseres historischen Erbes vorhanden. Die wichtigsten Vor- und Nachteile der Verwendung von Kalk im Vergleich zu Zement, beispielsweise bei einem Mörtel für Restaurierungszwecke, sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Einfach inkompatibel

Die Inkompatibilität zwischen historischen Baustoffen und Portlandzement beruht hauptsächlich auf der Anwesenheit potenziell gefährlicher Bestandteile. Dabei handelt es sich insbesondere um hochtemperaturkristalline Phasen (C3A, C4AF), Alkali- und Gipsanteile, die dem Zement bei der Herstellung als Abbinde-Regulator zugesetzt werden und potenzielle unerwünschte Reaktionen bei Kontakt mit traditionellen Mauerwerken hervorrufen können.

Phase	Formel	Menge	Potenzieller Schaden
Trikalziumaluminate (C3A)	C3A	3-10%	Reagiert mit Sulfaten und Wasser, verursacht sulfatbedingten Angriff und führt zu Verschlechterung von Mörteln, Ziegeln und Steinen.
Tetralziumaluminoferite	C4AF	8-10%	Reagieren mit Gips und verursachen Ausdehnungen.
Sulfate	SO ₃	2-7%	Tragen zum Angriff durch Sulfate bei.
Alkali	Na ₂ O, K ₂ O	1-3%	Reaktion, die mit dem Vorhandensein von Alkali im Zement und amorphem oder wenig kristallinem Siliziumdioxid in einigen Zuschlägen verbunden ist. Dieses Phänomen ist auch als Alkali-Kieselsäure-Reaktion (ASR) bekannt.
Gips	CaSO ₄	2-9%	Neigt zur Ausdehnung und verursacht Ausblühungen.

KALK IN DER NACHHALTIGEN BAUWEISE

Kalk und Ökologie

Warum können Kalkmörtel CO_2 und SO_2 absorbieren?

Wenn Kalk mit der Atmosphäre (reich an CO_2 und SO_2) in Kontakt kommt, werden Kohlendioxid und/oder Schwefeldioxid aus der Luft „entnommen“ und im Mörtel in Form von Calciumcarbonat und Gips gebunden.

Die Mechanismen für Schwefeldioxid sind:

1. $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 0,5 \text{ O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Die Mechanismen für Kohlendioxid sind:

1. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
2. $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2 \text{ H}_2\text{O}$

Kalk und Hanf

Moderne Bauweise bedeutet nicht nur Energieeinsparung, sondern vor allem auch gesundes Wohnen und Nachhaltigkeit durch die Verwendung geeigneter Materialien.

Der Bau mit pflanzlichen Materialien bringt ökologische, ethische, soziale und wirtschaftliche Vorteile. Hanf liefert die besten Ergebnisse.

Diese Pflanze ist leicht anzubauen, da sie schnell wächst, wenig Wasser verbraucht und kaum von Schädlingen befallen wird.

Hanf, nach der Verarbeitung und Fasertrennung zum sogenannten „Canapulo“, eignet sich hervorragend als Ersatz für Zuschlagstoffe bei der Herstellung von leichten Mörteln und Betonen, da er resistent gegen Schimmel und Insekten ist und reich an Kieselsäure, vor allem aber ein „carbon negativer“ Werkstoff ist.

Kalk und Hanf

Das Biokomposit wird durch Mischung von Kalk, Hanf und Wasser hergestellt. Die Mischung wird in einer Mischmaschine verarbeitet und anschließend je nach Verwendung manuell oder maschinell aufgetragen. Nach dem Einbau härtet das Biokomposit durch Wasserverdunstung, Karbonatisierung und Hydratation des Kalks aus.

Die Art des Bindemittels (Luftkalk, hydraulischer Kalk usw.), die Qualität und Länge des Hanffasers (Canapulo) sowie die Mischverhältnisse bestimmen unterschiedliche Materialeigenschaften, die für verschiedene Bauanwendungen geeignet sind.

Die Hauptmerkmale des Kalk-Hanf-Biokomposits (abhängig von Mischung und Verarbeitung) sind:

- Trockendichte: 250–800 kg/m³
- Wärmeleitfähigkeitskoeffizient: 0,05–0,16 W/mK
- Spezifische Wärme: 1,0–1,6 kJ/kg·K
- Druckfestigkeit: 0,2–1,0 N/mm²

Kalk ist grün

Alle Baustoffbindemittel emittieren während ihrer Herstellung große Mengen Kohlendioxid, was mit dem Verbrauch fossiler Brennstoffe zusammenhängt – so auch Kalk.

Dennoch zeichnet sich Kalk, vor allem Luftkalk, durch geringere dauerhafte CO₂-Emissionen aus, da die Brenntemperatur niedrig ist und ein Teil des Kohlendioxids während der Verarbeitung wieder aufgenommen wird.

Zement hingegen verursacht die höchsten dauerhaften CO₂-Emissionen; in Italien wird geschätzt, dass Zementwerke für 6 % der gesamten CO₂-Emissionen verantwortlich sind.

Kalk: Ökologie in der Anwendung

Chemisch und toxikologisch betrachtet sind Kalkprodukte, insbesondere Luftkalke, wesentlich einfachere und ungefährlichere Stoffe als alternative Produkte, da sie im Wesentlichen aus Ca(OH)₂ und gegebenenfalls Mg(OH)₂ bestehen.

Kalke sind basisch, ungiftig und bekannt für ihre antiseptischen und hygienisierenden Eigenschaften.

In der Architektur, mit Blick auf nachhaltiges Bauen, ist es daher unvermeidlich, Kalk bei der Herstellung von Putzen und Anstrichen zu bevorzugen.

Kalke sind Materialien mit hoher Dampfdurchlässigkeit und gewährleisten die beste Wohnqualität in Innenräumen von Gebäuden.

NORMEN UND ABKÜRZUNGEN

Normen

Bis 2002 wurde die Kalkproduktion in unserem Land durch eine nationale Verordnung geregelt, die durch Gesetzesdekrete erlassen wurde.

Mit dem Inkrafttreten der EU-Vorschriften wurde für Kalk ein neues europäisches Regelwerk eingeführt, das unter anderem die CE-Kennzeichnung für Baukalk verbindlich machte.

Kalk ohne diese Konformitätserklärung darf nicht in den Handel gebracht werden, und bereits im Umlauf befindliche Produkte müssen vom Markt zurückgezogen werden.

Seit 2001 hat die Europäische Kommission eine Reihe von Normen für „Baukalk“ veröffentlicht, ausgearbeitet vom CEN/TC 51.

Diese Normen wurden national durch die UNI übernommen:

- **UNI EN 459-1:2010 Baukalk. Definitionen, Spezifikationen und Konformitätskriterien**
Diese Norm ist die offizielle italienische Fassung der europäischen Norm EN 459-1 (Ausgabe September 2010) und ersetzt die UNI EN 459-1:2002. Sie liefert eine allgemeine Definition der verschiedenen Arten von Baukalk sowie deren Klassifizierung. Zudem beschreibt sie Anforderungen an die chemischen und physikalischen Eigenschaften, abhängig vom Kalktyp, und legt Konformitätskriterien fest.
- **UNI EN 459-2:2010 Baukalk. Prüfverfahren**
Diese Norm beschreibt die Prüfverfahren für alle in der UNI EN 459-1:2010 behandelten Baukalke. Dabei werden Referenzmethoden und in einigen Fällen alternative Prüfmethode angegeben.
- **UNI EN 459-3:2010 Baukalk. Konformitätsbewertung**
Diese Norm spezifiziert das Verfahren zur Bewertung der Konformität von Baukalk im Vergleich zur Produktnorm UNI EN 459-1:2010, einschließlich der Konformitätserklärung durch den Hersteller. Sie gibt technische Regeln für die werkseigene Produktionskontrolle vor, einschließlich der Eigenprüfungen an Proben.

Die genannten Normen gelten für Baukalke, die als Bindemittel für Mörtel in Mauerwerk, Innen- und Außenputze sowie für die Herstellung anderer Bauprodukte verwendet werden. Für spezielle Anwendungen (z. B. im Tiefbau) sind zusätzliche Anforderungen erforderlich.

Vorsicht bei den Abkürzungen

Die Norm UNI EN 459-1:2010 unterteilt hydraulische Kalke in drei Unterkategorien:

- **Natürliche hydraulische Kalke (NHL):** ausschließlich aus natürlichen Mergeln oder silikatischen Kalksteinen gewonnen, ohne weitere Zusätze außer Wasser zum Löschen.
- **Hydraulische Kalke (HL):** Kalke, die hauptsächlich aus Calciumhydroxid, Calcium-Silikaten und Calcium-Aluminaten bestehen, hergestellt durch Mischung „geeigneter Materialien“.
- **Formulierte hydraulische Kalke (FL):** neue Klasse, die die Herstellung hydraulischer Kalke durch Mischung von Luftkalk, natürlichem hydraulischem Kalk und verschiedenen Zusätzen (deren Name und Anteil angegeben werden müssen) erlaubt.

Dank dieser Norm ist klar definiert, was unter natürlichem hydraulischem Kalk (NHL) zu verstehen ist. Nur Materialien mit dem Kürzel NHL dürfen als solcher bezeichnet und verwendet werden. Die Zahl hinter der Abkürzung (NHL 2, NHL 3.5, NHL 5) gibt die mechanische Festigkeit des Kalks an, bezogen auf die Mindestdruckfestigkeit einer Mörtelprobe nach 28 Tagen Aushärtung, ausgedrückt in Megapascal (MPa). Diese Klassifizierung gilt auch für die anderen beiden hydraulischen Kalkarten, HL und FL, die geschaffen wurden, um Produkte zu erfassen, die bisher als hydraulischer Kalk im weiteren Sinne galten.

Leistungserklärung (DoP)

Nach mehr als zwanzig Jahren wurde die Richtlinie 89/106/EWG aufgehoben und durch die EU-Verordnung Nr. 305/2011 ersetzt.

Seit dem 1. Juli 2013 bestätigt die CE-Kennzeichnung von Bauprodukten nicht mehr die „Konformität“ mit einer technischen Spezifikation, sondern stellt den Abschluss eines harmonisierten Verfahrens dar, durch das a) bewertet, b) festgestellt, c) garantiert und d) die Leistung eines bestimmten Produkts für den Markt erklärt wird.

Wichtigste Neuerungen der Verordnung EU 305/2011 sind die Verpflichtung des Herstellers zur Erstellung der „Leistungserklärung“ (Declaration of Performance, DoP) sowie die Einführung der „Grundlegenden Anforderung Nachhaltigkeit“. Diese beiden Aspekte sind aus verschiedenen Gründen besonders wichtig für Kalk und seine Derivate (Mörtel, Putze, Anstriche etc.).

Die siebte Anforderung – Nachhaltigkeit

Die wichtigste Neuerung der Bauproduktenverordnung (CPR) ist die siebte grundlegende Anforderung, die sich dem Thema Nachhaltigkeit widmet. In der Verordnung wird die Umweltbewertung von Produkten über die Umweltproduktdeklaration (Environmental Product Declaration, EPD) geregelt. Diese umfasst eine Lebenszyklusanalyse, die den Energie- und Ressourceneinsatz berücksichtigt. Im Unterschied zu bereits vorhandenen Umwelterklärungen müssen die gemäß der Verordnung erstellten EPDs auf europäischen Standards basieren und die Umweltleistung über den gesamten Lebenszyklus bis hin zum Recycling oder zur Endentsorgung darstellen.

Kalk als nachhaltiger Baustoff wird hier zweifellos bevorzugt, was eine verstärkte Nutzung in Bauprojekten erwarten lässt, da andere Bindemittel – Zement inbegriffen – diese Nachhaltigkeit nicht erreichen.

Die Leistungserklärung

Die Leistungserklärung ersetzt die zuvor übliche Konformitätserklärung gemäß der aufgehobenen Richtlinie. Sie muss vom Hersteller verantwortungsvoll zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens des Produkts erstellt werden. Produktanwender – Installateure, Planer, Bauleiter – müssen die DoP verstehen und bewusst für die Bewertung der Eignung des Produkts für den vorgesehenen Gebrauch nutzen.

Ausnahmen von der Pflicht zur DoP gelten für Produkte, die auf der Baustelle hergestellt werden, für Restaurationsarbeiten oder für Einzelanfertigungen nach Kundenwunsch.

Diese Ausnahmen begünstigen weiterhin die Verwendung von Kalk, seine Herstellung vor Ort und seine Nutzung im Einklang mit der handwerklichen Tradition.

Kalk-Normen: Das Kreidequietschen

Für viele Menschen ist das Quietschen von Kreide auf der Tafel unangenehm und verursacht Gänsehaut sowie starke Ohrenschmerzen – was ist die Ursache?

Man kann sich einen Bogen vorstellen, der über die Saiten einer Geige gleitet. Wenn der Bogen schlecht gleitet, klingt das Instrument dissonant und unangenehm.

Das gleiche passiert, wenn Kreide auf der Tafel nicht glatt gleitet, sondern stockt, ruckartig gleitet und beim erneuten Gleiten aufgrund des vorherigen Blockierens vibriert. Diese unangenehme Vibration wird von der Tafel verstärkt, die wie der Geigenkörper als Resonanzkasten wirkt.

Erstellungsdatum: 7. Juli 2025

Ich danke herzlich allen, die sich die Zeit genommen haben, diesen Text zu lesen, der aus Leidenschaft, Erfahrung und tiefem Respekt vor handwerklichen Traditionen entstanden ist.

Kalk stellt eine wertvolle Brücke zwischen altem Wissen und Innovation im Bereich des nachhaltigen Bauens dar. Seine Verwendung in Farben, Putzen und Restaurierungen trägt nicht nur zum Erhalt des historischen Erbes bei, sondern verbessert auch die Wohnqualität und schützt die Umwelt. Dieser Artikel wurde von mir, Mattia Bottazzo, verfasst, mit der Absicht, Wissen zu teilen, das auf gründlichem Studium und beruflicher Praxis basiert, in der Überzeugung, dass natürliche Materialien grundlegend für eine gesündere und bewusstere Zukunft sind.